



**TESIS - TE142599**

**ALGORITMA KONSENSUS RATA-RATA TERDISTRIBUSI  
PADA WIRELESS SENSOR NETWORK  
BERBASIS LINK INFRARED**

**DWI EDI SETYAWAN  
2215203001**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**





**TESIS - TE142599**

**ALGORITMA KONSENSUS RATA-RATA TERDISTRIBUSI  
PADA WIRELESS SENSOR NETWORK  
BERBASIS LINK INFRARED**

**DWI EDI SETYAWAN  
2215203001**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**





## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Dwi Edi Setyawan  
NRP. 2215203001

Tanggal Ujian : 5 Januari 2017  
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh:

  
1. Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
NIP. 196311091989031011

(Pembimbing I)

  
2. Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.  
NIP. 197903252003121001


(Pembimbing II)

  
3. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.  
NIP. 197011111993031002

(Penguji)

4. Dr. Ir. Titiek Suryani, M.T.  
NIP. 196411301989032001

(Penguji)

  
5. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.  
NIP. 196605101992032002

(Penguji)

  
an. Direktur Program Pascasarjana  
Asisten Direktur

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.  
NIP. 19610211986031001

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D.  
NIP. 196012021987011001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**ALGORITMA KONSENSUS RATA-RATA TERDISTRIBUSI PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS LINK INFRARED**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Dwi Edi Setyawan  
2215203001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# ALGORITMA KONSENSUS RATA-RATA TERDISTRIBUSI PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS LINK INFRARED

Nama mahasiswa : Dwi Edi Setyawan  
NRP : 2215203001  
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
2. Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Pada suatu kasus dalam aplikasi WSN, beberapa *node sensor* diletakan tidak terlalu jauh satu sama lain. Beberapa *node sensor* tersebut ditugaskan untuk mendeteksi dan menganalisa parameter fisik di lingkungan yang sama. Hal ini dilakukan untuk menjamin keakuratan informasi yang akan dikirim ke *Base Station*. Karena jarak antar *node* relatif dekat, maka komunikasi menggunakan media transmisi RF menjadi kurang efisien dari segi energi. Disisi lain, Semakin banyak *node sensor* yang ditempatkan pada area yang sama, maka akan semakin banyak variasi data yang diperoleh dari hasil penginderaan tiap *node sensor*. Data yang diperoleh tiap *node* akan berbeda-beda meskipun mendeteksi dan menganalisa parameter fisik yang sama. Dalam hal ini konvergensi data sangat di perlukan.

Dari pertimbangan kasus tersebut, maka pada penelitian ini diusulkan sistem komunikasi optik jarak dekat FSO sebagai pengganti sistem komunikasi berbasis RF. Kemudian untuk menangani variasi data pada tiap sensor, digunakan algoritma konsensus rata-rata dalam upaya untuk mencapai konvergensi.

Dari hasil uji coba pada aspek sistem komunikasi, jarak jangkauan antar *node* maksimum dengan BER 0 % adalah 15 meter sedangkan pada perencanaan link budget dapat mencapai 25 meter. Sehingga kinerja sistem komunikasi secara nyata dibandingkan dengan perencanaan adalah 60 %. Bit rate maksimum yang dapat dipancarkan adalah 1.66 Kbps pada Time bit 600  $\mu$ S dan 1.1 Kbps pada Time bit 900  $\mu$ S. Pada aspek algoritma konsensus, hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan data pada tiap *node*, maka semakin sulit menemukan konvergensi. Kemudian semakin banyak memory yang dialokasikan untuk data dari *node* tetangga, maka konvergensi akan semakin mudah dan cepat tercapai. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada parameter bobot 0,9 konvergensi dapat dicapai dengan rata-rata waktu 1 menit 40 detik. Sedangkan pada uji coba langsung dengan melibatkan sistem secara keseluruhan, rata-rata konvergensi membutuhkan waktu 2 menit 1 detik pada lingkungan indoor dan 1 menit 32 detik pada lingkungan outdoor.

Kata kunci: (Wireless Sensor Network, Free Space Optical, konsensus rata-rata terdistribusi, konvergensi.)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DISTRIBUTED AVERAGE CONSENSUS ALGORITHM ON WIRELESS SENSOR NETWORK BASED INFRARED LINK**

By : Dwi Edi Setyawan  
Student Identity Number : 2215203001  
Supervisor(s) : 1. Dr. Ir. Wirawan, DEA.  
2. Dr. Istas Pratomo, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

In a case on WSN applications, some of the sensor nodes placed not too far from each other. Some of sensor nodes assigned to detect and analyze the physical parameters in the same area aims to ensure the accuracy of the information that will be sent to the Base Station. Caused the distance between nodes is relatively close, then communication using RF transmission media become less efficient in terms of energy. On the other hand, if many nodes placed in the same area, then the data obtained by each sensor node can be varied though nodes detecting and analyzing of same physical parameters. In this case, the convergence of information data is very essential.

From the consideration of that case, so in this study propose the optical communication systems FSO for short distance to replace RF based communications systems. Then to handling variations in data at each sensor, used an average consensus algorithm in effort to achieve convergence of data.

From the test results on aspects of communication systems, maximum range between node reach 15 meters with BER 0%, while on the link budget planning maximum range can reach 25 meters. So communication system performance if compared with the planning is 60%. The maximum bit rate that can be transmitted is 1.66 Kbps at the Time bit 600 uS and 1.1 Kbps at the Time bit 900 uS. In the aspect of the consensus algorithm, simulation results show that the greater the difference of data at each node, it is increasingly difficult to find convergence. Another result is if more memory allocated to data from neighboring nodes, the convergence will be more easily and quickly achieved. The simulation results show that the weighting parameter 0.9, convergence can be achieved with average time of 1 minute 40 seconds. While on overall system testbed, average convergence takes time 2 minute 1 seconds for indoor measurement and 1 minute 32 second in outdoor measurement.

Key words: Wireless Sensor Network, Free Space Optical, Distributed Consensus Algorithm, Convergence.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR



Puji syukur Alhamdulillah Kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan KaruniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul :

### **ALGORITMA KONSENSUS RATA-RATA TERDISTRIBUSI PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS LINK INFRARED**

Tesis ini merupakan karya tulis yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan program Magister (S2) pada Bidang Keahlian Jaringan Cerdas Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Maka tanpa menghilangkan rasa hormat, dengan terselesaikannya penyusunan tesis ini, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Wirawan selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak bimbingan tentang topik ilmu WSN serta kesabaran yang telah tercurahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini sesuai target.
2. Bapak Istas Pratomo selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak bimbingan di LAB 301. Memberi banyak masukan dalam hal bagaimana menjalani studi S2 dengan baik.
3. Prof Gamantyo selaku dosen wali yang telah memberi banyak motivasi agar selalu belajar untuk menjadi seorang penulis jurnal IEEE, sehingga tertuntut untuk selalu belajar pada hal yang baru.
4. Bapak dan Ibu dosen penguji dan dosen pengajar terutama di Program Studi Teknik Elektro, Bidang Keahlian Telekomunikasi Multimedia, terimakasih atas segala bimbingannya kepada penulis selama menempuh studi S2.

5. Bapak Triman dan Fajar selaku rekan kerja di JTV yang telah memberikan banyak toleransi dan dukungan kepada penulis selama menempuh studi S2.
6. Ayah, Ibu dan mertua tercinta, terima kasih yang tiada terhingga atas segala kasih sayang, nasehat, dan doa yang senantiasa beliau curahkan.
7. Herti Miawarni, dan Asyifa Rizkyana Herdianti, istri dan buah hati tercinta sang penyemangat hidup, terimakasih atas segalanya.
8. Rekan-rekan S2 dan S1 di lab B301 khususnya Bu Rini, Mas Heri, Mas Arda, Mbak Soffa dan rekan-rekan lainnya. Kemudian rekan-rekan dari Lab B304 dan B306 atas kebaikan serta kerjasamanya selama penulis menempuh studi pascasarja di jurusan teknik elektro.
9. Semua pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tesis ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, karena kebenaran yang sempurna hanyalah milik Allah SWT semata, dan semua kekurangan yang ada karena keterbatasan dari penulis. Maka dari itu, segala masukan, kritik, dan saran yang membangun, sangat diharapkan oleh penulis, untuk pengembangan ke arah yang lebih baik. Dan selanjutnya, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 15 Januari 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Kontribusi .....	6
1.6 Metodologi Penelitian .....	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	7
2.1 Wireless Sensor Network .....	7
2.1.1 Arsitektur WSN .....	8
2.1.2 Protokol MAC .....	9
2.2 Sistem Komunikasi Optik .....	12
2.2.1 Teknik Modulasi Pada OWC / FSO .....	13
2.2.2 Teknik Modulasi ASK .....	14
2.2.3 Optical Link Budget .....	17
2.3 Algoritma Terdistribusi .....	18
2.3.1 Algoritma Konsensus Rata-Rata .....	19
2.3.2 Estimasi Terdistribusi Menggunakan <i>Short Node Memory</i> .....	20
2.3.3 Algoritma Konsensus Pada Noisy Chanel .....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	25
3.1 Tahapan Penelitian .....	25
3.2 Skenario Lingkungan WSN .....	27

3.3	Skenario Topologi Mesh .....	27
3.4	Pemilihan Arsitektur WSN.....	28
3.5	Perancangan Sub Sistem Penginderaan.....	29
3.6	Perancangan Sub Sistem Komunikasi .....	30
3.6.1	Perencanaan Link Budget.....	30
3.6.2	Modulator Optical ASK.....	32
3.6.3	Demodulator Optical ASK .....	32
3.6.4	Format Sinyal .....	34
3.6.5	Protokol Komunikasi.....	35
3.7	Perancangan Sub Sistem Pengolahan.....	36
3.8	Perancangan Algoritma Sistem Operasi Dasar .....	37
3.9	Perancangan Algoritma Konsensus.....	39
3.9.1	Skenario Algoritma Konsensus .....	39
3.9.2	Penanganan Error Sensing Pada Algoritma Konsensus .....	43
3.9.3	Penanganan Error Komunikasi Pada Algoritma Konsensus .....	44
3.10	Perancangan Algoritma MAC .....	46
3.10.1	Skenario TDMA .....	47
3.10.2	Skenario CSMA.....	47
3.10.3	TDMA dan CSMA Hybrid .....	49
3.11	Perancangan Sub Sistem Interfacing .....	50
3.12	Node Prototype.....	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		53
4.1	Uji Coba dari Aspek Perancangan <i>Node</i> . .....	53
4.1.1	Pengukuran Jarak Jangkauan <i>Node</i> Pada Lingkungan <i>Indoor</i> .....	54
4.1.2	Pengukuran Jarak Jangkauan <i>Node</i> Pada Lingkungan <i>Outdoor</i> .....	57
4.1.3	Pengukuran Jarak Jangkauan Menggunakan Oscilloscope .....	60
4.1.4	Validasi Pengukuran Jarak Menggunakan Link Budget .....	62
4.1.5	Pengaruh Variasi Kedatangan Sinyal Terhadap Bit Informasi.....	63
4.1.6	Pengukuran untuk menentukan $T_b$ (Time bit) Ideal.....	64
4.1.7	Bit Rate Maksimum Pada Beberapa Variasi $T_b$ .....	66
4.1.8	Waktu Pengiriman Informasi Pada Beberapa Variasi $T_b$ .....	67
4.1.9	Uji Coba Pada Penjadwalan TDMA .....	69
4.1.10	Uji Coba Pada Penjadwalan CSMA .....	74

4.2	Uji Coba dari Aspek Algoritma Konsensus .....	80
4.2.1	Simulasi Algoritma Konsensus Rata-Rata .....	81
4.2.2	Analisa Waktu Konvergensi .....	87
4.2.3	Waktu Konvergensi Pada Uji Coba Langsung .....	90
4.2.4	Komparasi Waktu Konvergensi .....	93
4.2.5	Simulasi Algoritma Penanganan Error Sensing .....	94
4.2.6	Uji Coba Algoritma Penanganan Error Sensing .....	96
4.2.7	Uji Coba Gangguan Komunikasi .....	98
4.2.8	Uji Coba Algoritma Penanganan <i>Error</i> Komunikasi .....	104
4.2.9	Konvergensi dan Akurasi Pada Lingkungan Indoor .....	110
4.2.10	Konvergensi dan Akurasi Pada Lingkungan Outdoor .....	115
BAB 5 PENUTUP .....		119
5.1	Kesimpulan .....	119
5.2	Saran .....	123
DAFTAR PUSTAKA .....		125
LAMPIRAN .....		129
6.1	Sensor Suhu LM 35 DZ .....	129
6.2	Mikrokontroler AT Mega 8535 .....	129
6.3	Komponen Pendukung Sistem Komunikasi .....	131
6.3.1	Infrared <i>Receiver</i> TSOP 34838 .....	131
6.3.2	Infrared <i>Transmitter</i> TSAL 7600 .....	134
6.3.3	<i>Astable</i> IC 555 .....	134
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....		137

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Permasalahan Pada WSN .....	2
Gambar 2.1 Wireless Sensor Network .....	7
Gambar 2.2 Contoh Arsitektur <i>Node</i> WSN.....	8
Gambar 2.3 Ilustrasi Penjadwalan TDMA.....	11
Gambar 2.4 Optical Wireless Communication .....	12
Gambar 2.5 Modulation Tree .....	13
Gambar 2.6 Bentuk Sinyal Pada Modulasi ASK .....	15
Gambar 2.7 Diagram Blok <i>Optical ASK Modulator</i> . ....	15
Gambar 2.8 Diagram Konstelasi Modulasi ASK.....	16
Gambar 2.9 Flow Chart Algoritma Konsensus Rata-Rata .....	21
Gambar 3.1 Diagram Fish Bone Tahapan Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Skenario Topologi Mesh .....	28
Gambar 3.3 Desain Arsitektur WSN.....	29
Gambar 3.4 Time Pulse 20 mS .....	31
Gambar 3.5 Desain Modulator ASK.....	32
Gambar 3.6 Diagram Blok Internal TSOP 34838.....	33
Gambar 3.7 Demodulator Combiner.....	33
Gambar 3.8 Format Sinyal Standard Pada TSOP 34838 .....	34
Gambar 3.9 Format Sinyal Yang Digunakan.....	35
Gambar 3.10 Desain Protokol Komunikasi .....	35
Gambar 3.11 Pembagian Sub Algoritma .....	37
Gambar 3.12 Flow Chart Software System .....	38
Gambar 3.13 Struktur Algoritma Konsensus .....	39
Gambar 3.14 Ilustrasi Dari Slot Data Informasi .....	40
Gambar 3.15 Skenario Algoritma Konsensus.....	42
Gambar 3.16 Hasil Uji Coba Kestabilan LM 35 DZ Pada 100 kali sampling .....	43
Gambar 3.17 Perubahan Tb Akibat Keterlambatan Bit Informasi.....	44
Gambar 3.18 Kegagalan Komunikasi Akibat Keterlambatan Bit Informasi .....	44
Gambar 3.19 Skema Penjadwalan 4 <i>Node</i> Pada 4 Time Slot .....	47

Gambar 3.20 Proses Carrier Sensing Pada Perancangan.....	48
Gambar 3.21 Alur Program Pada Penjadwalan .....	49
Gambar 3.22 Flowchart Pada Software Interface.....	51
Gambar 3.23 <i>Node</i> Prototype .....	51
Gambar 4.1 Aktivitas Pengukuran Pada Lingkungan <i>Indoor</i> .....	54
Gambar 4.2 Test Sinyal 100 Kali Pulsa Pada Frekuensi 38 KHz.....	55
Gambar 4.3 Metode Pengukuran Jarak Jangkauan <i>Node</i> .....	55
Gambar 4.4 Prosentase Bit Error Dalam Bentuk Grafik ( <i>Indoor</i> ).....	57
Gambar 4.5 Aktivitas Pengukuran Pada Lingkungan <i>Outdoor</i> .....	58
Gambar 4.6 Prosentase Bit Error Dalam Bentuk Grafik ( <i>Outdoor</i> ) .....	59
Gambar 4.7 Metode Pengukuran Menggunakan Oscilloscope .....	60
Gambar 4.8 Grafik Link Budget Daya Pada Penerima .....	63
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Prosentase Bit Error Pada Variasi <i>Tb</i> .....	65
Gambar 4.10 Bit Rate Maksimum VS Time Bit. ....	67
Gambar 4.11 Ilustrasi tujuan estimasi .....	67
Gambar 4.12 Grafik Waktu Pengiriman Informasi Pada <i>Tb</i> Yang Berbeda.....	68
Gambar 4.13 Metode Uji Coba Pada Penjadwalan TDMA.....	69
Gambar 4.14 Skenario Uji Coba Untuk Penjadwalan TDMA .....	70
Gambar 4.15 Tampilan Software Interface Pada Uji Coba TDMA .....	71
Gambar 4.16 Hasil Uji Coba Penjadwalan TDMA .....	72
Gambar 4.17 Analisa Keteraturan Time Slot Pada Penjadwalan TDMA. ....	74
Gambar 4.18 Tampilan Software Interface Pada Pengujian CSMA .....	75
Gambar 4.19 Hasil Uji Coba Penjadwalan CSMA ( <i>Scheme-1</i> ) .....	76
Gambar 4.20 Keteraturan Time Slot Pada Penjadwalan CSMA ( <i>Scheme-1</i> ).....	77
Gambar 4.21 Hasil Uji Coba Penjadwalan CSMA ( <i>Scheme-2</i> ) .....	78
Gambar 4.22 Screen Shoot Software Simulasi Algoritma Konsensus.....	81
Gambar 4.23 Visualisasi Hasil Analisa Waktu Konvergensi .....	90
Gambar 4.24 Metode Pengujian Waktu Konvergensi .....	90
Gambar 4.25 Kalibrasi <i>V<sub>reff</sub></i> ADC Pada 4 Unit <i>Node</i> .....	91
Gambar 4.26 Software Interface Pada Uji Coba Konvergensi.....	91
Gambar 4.27 Visualisasi Waktu Konvergensi Pada Uji Coba Langsung.....	93
Gambar 4.28 Grafik Komparasi Waktu Konvergensi .....	93



Gambar 4.29 Hasil Uji Coba Penanganan Error Sensing .....	97
Gambar 4.30 Metode Uji Coba Gangguan Komunikasi Pada Indoor.....	99
Gambar 4.31 Beberapa Jenis Sumber Cahaya Untuk Proses Uji Coba .....	99
Gambar 4.32 Metode Uji Coba Gangguan Komunikasi Pada Outdoor .....	100
Gambar 4.33 Hasil Uji Coba Menggunakan Cahaya Lampu Pijar .....	101
Gambar 4.34 Hasil Uji Coba Menggunakan Cahaya Lampu Fluorescent .....	101
Gambar 4.35 Hasil Uji Coba Menggunakan Cahaya Remote Control .....	101
Gambar 4.36 Hasil Uji Coba Dibawah Paparan Sinar Matahari (Outdoor).....	102
Gambar 4.37 Hasil Uji Coba Menggunakan Obyek Penghalang (Indoor) .....	102
Gambar 4.38 Hasil Uji Coba Menggunakan Obyek Penghalang (Outdoor).....	102
Gambar 4.39 Metode Uji Coba Penanganan Error Komunikasi.....	105
Gambar 4.40 Screenshot Tampilan Software Interface. ....	105
Gambar 4.41 Hasil Uji Coba Algoritma Penanganan Error Komunikasi .....	109
Gambar 4.42 Proses Kalibrasi Sensor Dengan Termometer Standard .....	110
Gambar 4.43 Lokasi Dilakukan Uji Coba.....	111
Gambar 4.44 Proses Setting Suhu Pada Ruangan.....	111
Gambar 4.45 Uji Coba Konvergensi Dan Akurasi Pada Lingkungan Indoor.....	112
Gambar 4.46 Uji Coba Konvergensi Dan Akurasi Pada Lingkungan Outdoor ..	115
Gambar 6.1 Bentuk fisik dari sensor suhu LM 35 DZ. ....	129
Gambar 6.2 Bentuk Fisik Dari Mikrokontroler AT Mega 8535 .....	130
Gambar 6.3 Ilustrasi setting data ADC .....	130
Gambar 6.4 Bentuk fisik dari TSOP 34838 .....	131
Gambar 6.5 Prinsip kerja Devais. ....	132
Gambar 6.6 Spektrum Cahaya .....	132
Gambar 6.7 Karakteristik Sensor Terhadap Panjang Gelombang Cahaya .....	133
Gambar 6.8 Karakteristik Sudut Penerimaan.....	133
Gambar 6.9 Bentuk Fisik Dari IR LED TSAL 7600 .....	134
Gambar 6.10 Karakteristik Sudut Pancar TSAL 7600.....	134
Gambar 6.11 Rangkaian Dasar <i>Astable</i> IC 555 .....	135

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Start Bit Dan Finish Bit Pada Desain Protokol.....	36
Tabel 3.2 Tabel Pembobotan Dan Alokasi Slot Data .....	41
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Pada Lingkungan <i>Indoor</i> .....	56
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Pada Lingkungan <i>Outdoor</i> .....	58
Tabel 4.3 Tabel Lanjutan Hasil Pengukuran Pada Lingkungan <i>Outdoor</i> .....	59
Tabel 4.4 Tabel Pengukuran Menggunakan Oscilloscope .....	61
Tabel 4.5 Tabel Hasil Perhitungan Link Budget.....	62
Tabel 4.6 Tabel Fenomena Dan Observasi Menggunakan Oscilloscope.....	64
Tabel 4.7 Tabel Perhitungan Bit Rate Pada Kisaran <i>Tb</i> Ideal.....	66
Tabel 4.8 Estimasi Waktu Pengiriman Informasi Pada <i>Tb</i> Yang Berbeda .....	68
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Skenario Penjadwalan. ....	73
Tabel 4.10 Screen Shoot Grafik Pada Software Interface.....	79
Tabel 4.11 Hasil Simulasi Pada Skenario ke-1 .....	83
Tabel 4.12 Tabel Lanjutan Hasil Simulasi Pada Skenario ke-1 .....	84
Tabel 4.13 Hasil Simulasi Pada Skenario ke-2 .....	85
Tabel 4.14 Tabel Lanjutan Hasil Simulasi Pada Skenario ke-2.....	86
Tabel 4.15 Hasil Analisa Waktu Konvergensi .....	89
Tabel 4.16 Waktu Konvergensi Pada Uji Coba Langsung .....	92
Tabel 4.17 Hasil Simulasi Algoritma Penanganan Error Sensing .....	95
Tabel 4.18 Hasil Uji Coba Algoritma Penanganan Error Komunikasi.....	106
Tabel 4.19 Tabel Lanjutan Hasil Uji Coba Algoritma.....	107
Tabel 4.20 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi Dan Akurasi (Indoor) .....	113
Tabel 4.21 Hasil Uji Coba Pengamatan Kestabilan Konvergensi (Indoor) .....	114
Tabel 4.22 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi Dan Akurasi (Outdoor)...	116
Tabel 4.23 Hasil Uji Coba Pengamatan Kestabilan Konvergensi (Outdoor).....	117

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

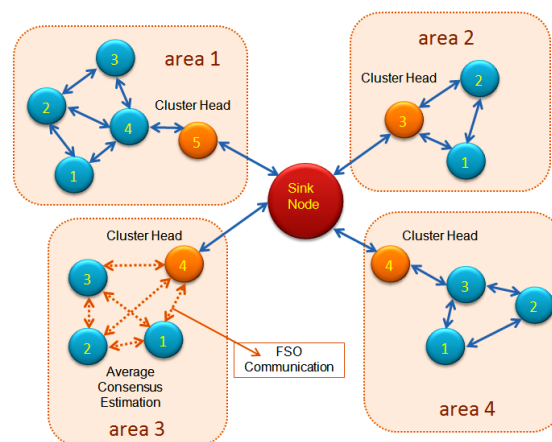
Teknologi Wireless Sensor Network (WSN) telah berkembang semakin pesat di berbagai bidang. Mulai dari historisnya dibidang militer, kemudian bidang lingkungan, peralatan rumah tangga hingga perindustrian [1]. WSN merupakan kumpulan dari banyak sensor yang saling terhubung, berkomunikasi dan mengumpulkan informasi secara wireless. Perangkat WSN memiliki sumber energi yang terbatas. Sehingga, efisiensi energi dan lifetime jaringan merupakan hal yang sangat penting. Karena ketersediaan energi yang terbatas, maka kemampuan *node* sensor untuk memancarkan informasi sangat terbatas pula. Dari alasan inilah umumnya *node* sensor bekerja secara kooperatif. Informasi dikirim dari suatu *node* ke *node* lain hingga sampai pada Base Station yang merupakan tempat dimana informasi akan diolah.

Pada suatu kasus dalam aplikasi WSN, beberapa *node sensor* diletakan tidak terlalu jauh satu sama lain. Beberapa *node sensor* tersebut ditugaskan untuk mendeteksi dan menganalisa parameter fisik di lingkungan yang sama. Hal ini dilakukan untuk menjamin keakuratan informasi yang akan dikirim ke *Base Station*. Karena semakin banyak *node sensor*, akan menyediakan banyak data informasi tentang kondisi yang sedang diamati. Satu sensor tidak lah cukup untuk melakukan pengamatan karena besar kemungkinan untuk terkena gangguan *noise* yang mengakibatkan informasi yang dikirim menjadi tidak akurat. Contoh kasus lain yang hampir sama misalkan beberapa *node WSN* ditempatkan dilingkungan pabrik yang banyak terdapat motor listrik. Beberapa *node* diletakan pada dinding pabrik untuk mendeteksi dan menganalisa suhu ruangan pabrik. Dalam hal ini jarak antar dinding umumnya pada kisaran meter. Sehingga jarak antar *node* tidak terlalu jauh. Dari dua kasus permasalahan tersebut, dapat disimpulkan kedalam dua aspek penting.

Aspek yang pertama adalah Bila jarak tidak menjadi permasalahan utama, maka komunikasi menggunakan media transmisi RF menjadi kurang efisien. Baik

dari segi energi maupun pengaruh *noise* yang dihasilkan oleh motor listrik. Di sisi lain dari sekian banyak aktivitas yang dilakukan oleh perangkat WSN, komunikasi *wireless* antar *sensor* merupakan aktivitas dengan konsumsi energi paling besar dan umumnya menggunakan media transmisi RF [2]. Adapun alternatif lain untuk media transmisi adalah FSO ( *Free Space Optical* ) yang merupakan salah satu solusi dalam efisiensi energi dan peningkatan masa *lifetime* [3], [4].

Aspek yang kedua adalah keakuratan informasi. Semakin banyak *node sensor* yang ditempatkan pada area yang sama, maka akan semakin banyak variasi data yang diperoleh dari hasil penginderaan tiap *node sensor*. Data yang diperoleh tiap sensor akan berbeda-beda meskipun mendeteksi dan menganalisa parameter fisik yang sama. Dalam hal ini konvergensi data sangat diperlukan. Dengan kata lain kesamaan persepsi antar *sensor* sangat dibutuhkan untuk menjamin keakuratan informasi. Di sisi lain, ada kesenjangan antara banyaknya informasi yang diperoleh dengan pemahaman sensor tentang situasi lingkungan yang sebenarnya. Sensor butuh pengetahuan yang menginformasikan kepada dirinya tentang situasi update global. Yaitu pengetahuan mengenai kapan data sudah mencapai kesamaan dan keakuratan. Maka dibutuhkan algoritma estimasi konsensus rata-rata terdistribusi untuk menyelesaikan permasalahan pada aspek ini. Adapun ilustrasi dari permasalahan pada penelitian ini adalah seperti yang terlihat pada Gambar 1.1. Khususnya pada area 3.



Gambar 1.1 Ilustrasi Permasalahan Pada WSN



Dari aspek yang pertama, pada penelitian sebelumnya [5], telah dilakukan penelitian tentang FSO dimana menunjukkan hasil efisiensi energi yang signifikan dibandingkan dengan media transmisi RF. Selain itu penelitian ini mengusulkan desain untuk media transmisi FSO. *Transmitter* optik memancarkan perubahan intensitas dan panjang gelombang untuk mendefinisikan informasi kepada penerima. Namun desain yang diusulkan masih menggunakan sistem analog dan terlalu rumit untuk diaplikasikan. Pada penelitian lain [6], [7] dilakukan komparasi dari beberapa panjang gelombang cahaya yang dipancarkan oleh *transmitter* optik. Dari beberapa poin yang diujikan antara lain Biru (450 nm), Hijau (532 nm), Merah (650 nm) dan Infra Merah (890 nm), sensitivitas tertinggi dan ketahanan terhadap redaman didapat dari panjang gelombang Infra Merah. Namun pada penelitian ini belum ada penjelasan tentang desain yang handal dan sederhana yang dapat diaplikasikan. Penelitian tentang FSO berbasis LASER juga telah dilakukan [8], namun permasalahan utama pada LASER adalah ketepatan titik cahaya yang dipancarkan ke penerima. Berdasarkan pertimbangan dari penelitian tersebut, maka pada aspek ini digunakan teknologi Infra Red yang merupakan salah satu varian dari media transmisi FSO. Dan sebagai pengganti media RF yang umum digunakan pada WSN.

Sedangkan aspek yang kedua, Algoritma konsensus rata rata terdistribusi adalah algoritma yang memungkinkan data yang diperoleh tiap *node* sensor diperbaharui oleh data *node* sensor tetangga secara periodik. Sehingga pada periode waktu tertentu didapat kesamaan data (Konvergensi). Dalam hal ini bila data masing-masing *node* sensor akurat, maka konvergensi data yang diperoleh merupakan data informasi yang akurat pula. Pada penelitian sebelumnya [9], telah diusulkan bahwa tiap *node* sensor menyimpan beberapa data untuk sementara waktu. Kemudian data tersebut dianalisa terlebih dahulu hingga menghasilkan data tunggal untuk ditransmisikan ke *node* tetangga. Hal ini dimaksudkan agar sebelum dilakukan konsensus, data yang didistribusikan antar *node* sensor adalah data yang akurat. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan performa kecepatan konvergensi dan keakuratan data. Namun pada penelitian sebelumnya tersebut masih sebatas menjamin usulan secara teoritis pada model permasalahan tertentu.

Algoritma konsensus rata-rata yang diaplikasikan pada media transmisi RF dengan FSO tentu berbeda. Bila pada media transmisi RF, gangguan yang paling umum adalah noise akibat interferensi, maka pada FSO adalah redaman cahaya yang dapat mengakibatkan error komunikasi. Gangguan ini dapat merubah nilai data yang ditransmisikan. Sehingga Pada penelitian ini, menggunakan konsep yang telah diusulkan pada penelitian sebelumnya dan melakukan penyesuaian pada permasalahan yang ada.

Untuk menyelesaikan permasalahan studi kasus pada penelitian ini, maka dilakukan dua pokok penelitian. Yang pertama adalah perancangan desain perangkat WSN dengan sistem komunikasi berbasis FSO *Infra Red* dengan tujuan meminimalisir noise dan upaya efisiensi energi. Adapun perancangan meliputi desain hardware, software dan protokol.

Yang kedua adalah mengimplementasikan algoritma estimasi konsensus rata rata pada desain perangkat WSN. Adapun implementasi mulai dari penerapan algoritma hingga analisa performansi perangkat. Diharapkan algoritma konsensus rata-rata yang telah diusulkan secara teoritis pada penelitian sebelumnya [9] dapat diaplikasikan secara nyata pada permasalahan lapangan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pada penelitian ini, sedikitnya ada 3 rumusan masalah utama. Adapun permasalahan tersebut antara lain sebagai berikut:

- Bagaimana merancang perangkat WSN dengan komunikasi berbasis FSO Infrared mulai dari hardware, software hingga protokol.
- Bagaimana mengimplementasikan algoritma konsensus pada desain perangkat yang telah didesain sebelumnya agar mencapai konvergensi dan keakuratan data.
- Bagaimana algoritma konsensus rata-rata dapat digunakan untuk menangani ketidakstabilan dari karakter sensor dan gangguan pada komunikasi.

### 1.3 Tujuan

Adapun beberapa tujuan pada penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- Menghasilkan Desain Prototype perangkat WSN secara keseluruhan mulai dari desain hardware, software hingga protokol sehingga bisa langsung di implementasikan pada lingkungan nyata.
- Menghasilkan desain komunikasi FSO yang lebih hemat energy dan lebih tahan terhadap noise.
- Menguji dan mengimplementasikan algoritma konsensus rata-rata dan pengaruhnya terhadap kinerja WSN dalam upaya untuk mencapai konvergensi.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- Rancangan hardware WSN menggunakan mikrokontroller type AT Mega 8535 yang dilengkapi dengan Infra Red *Receiver* type TSOP 34838 dan Infra Red LED sebagai *Transmitter*.
- Dari segi topologi menggunakan 3 *Node* WSN + 1 *Node* WSN sebagai Cluster Head. 4 *Node* WSN tersebut terhubung secara Mesh. Seperti yang terlihat pada Gambar 1.1.
- Untuk mengamati parameter fisik lingkungan, tiap *node* dilengkapi dengan sensor suhu LM 35 untuk mendeteksi suhu ruangan. Ketidak stabilan data output pada LM 35 digunakan untuk menguji kinerja algoritma estimasi konsensus rata-rata.
- Protokol yang digunakan untuk komunikasi antar *node*. Pada penelitian ini dilakukan perancangan protocol untuk komunikasi 4 *node*.
- Dari segi MAC layer, digunakan gabungan dari protokol TDMA dan CSMA yang diimplementasikan pada Mikrokontroller AT Mega 8535.

- Algoritma konsensus yang dipakai adalah konsensus rata-rata terdistribusi dengan *short node memory* yang juga diimplementasikan pada Mikrokontroller AT Mega 8535.
- Software, Protokol dan Algoritma estimasi konsensus rata-rata ditulis menggunakan bahasa C ( Code Vision AVR ) pada 4 *node* WSN.
- Dari segi antar muka dengan perangkat PC, Dilakukan perancangan software menggunakan Delphi 7. *Node* yang berperan sebagai Cluster Head akan dikoneksikan dengan PC untuk memudahkan monitoring data dan analisa.
- Dalam proses uji coba, algoritma konsensus rata-rata juga disimulasikan dengan menggunakan software Delphi 7.

## 1.5 Kontribusi

Dari penelitian ini diharapkan menghasilkan kontribusi ilmiah di bidang WSN. Mempresentasikan bahwa teknologi komunikasi menggunakan FSO khususnya Infra Red merupakan salah satu alternatif jalur komunikasi pada WSN yang bisa diandalkan pada kondisi tertentu. Yaitu kondisi dimana banyak sensor yang diletakan pada area rawan noise RF dengan jarak antar masing-masing *node* tidak terlalu jauh (15 meter). Selain itu mengimplementasikan usulan teoritis tentang algoritma konsensus rata-rata terdistribusi dengan *short node memory* pada lingkungan nyata.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada thesis ini adalah meliputi tahap awal yang berkaitan dengan perancangan *node* WSN dengan komunikasi berbasis FSO infrared. Kemudian dilakukan implementasi algoritma konsensus rata-rata pada rancangan *node* WSN. Sedangkan tahap akhir dari metode penelitian adalah dilakukan analisa teknis baik itu dari segi komunikasi maupun algoritma konsensus.

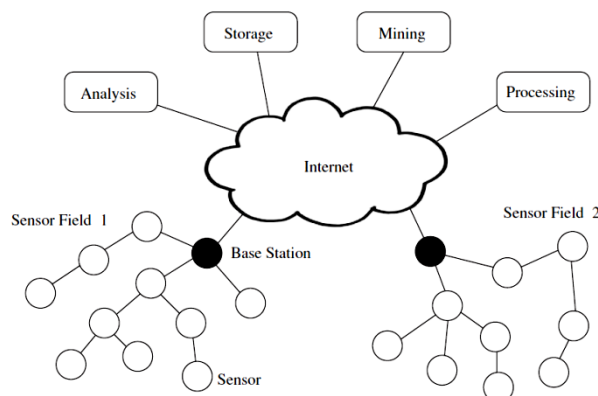
## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Wireless Sensor Network

WSN ( Wireless Sensor Network ) merupakan kumpulan dari banyak sensor yang bertugas untuk mengamati parameter fisik lingkungan dan saling terhubung secara wireless. Data informasi WSN diolah secara terpusat karena umumnya *node* WSN terdiri dari ratusan hingga ribuan *node*. Tugas dari *node* sensor tidak hanya melakukan penginderaan (sensing) saja, tetapi juga melakukan tugas kompleks semisal pemrosesan data informasi, komunikasi, dan media penyimpanan data sementara. Di sisi lain, *node* sensor juga bertanggung jawab melakukan analisa jaringan dan mengkombinasikan data informasi yang telah diperoleh dengan data informasi dari *node* lain.

Dalam memantau besaran fisik suatu lingkungan dalam skala besar, *node* WSN bekerja secara kooperatif. Tiap *node* memancarkan informasi ke *node* tetangga kemudian diteruskan menuju *node* lain secara estafet hingga data informasi sampai pada *node* Base Station. *Node* Base station (BS) dalam hal ini berfungsi sebagai pengumpul data informasi yang diperoleh dari sekian banyak *node*. Gambar 2.1 *Wireless Sensor Network* menunjukkan dua field sensor yang ditempatkan untuk mengamati dua lingkungan yang berbeda dan masing-masing *field* mengirim data lewat internet melalui *Base Station* (BS).

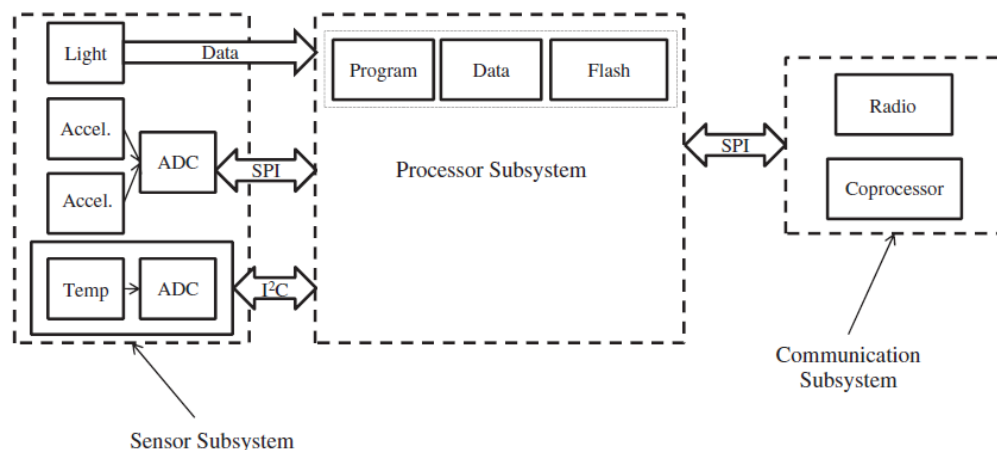


Gambar 2.1 Wireless Sensor Network

Kemampuan penginderaan *node* sensor sangat bervariasi. Mulai dari *node* yang hanya bisa melakukan penginderaan pada parameter fisik tunggal saja hingga *node* yang memiliki gabungan dari beberapa teknik penginderaan semisal parameter cahaya, parameter suara, parameter magnetik dan lain lain yang terintegrasi dalam satu devais. Selain kemampuan penginderaan, Jenis komunikasi pada tiap *node* juga bermacam macam antara lain komunikasi menggunakan suara ultrasonik, infrared maupun gelombang RF [10].

### 2.1.1 Arsitektur WSN

*Node* adalah elemen terpenting pada WSN yang bertugas melakukan proses penginderaan, pengolahan, penyimpanan data dan komunikasi. Selain itu, *node* WSN juga melakukan tugas berat lainya seperti mengeksekusi protokol komunikasi, menjalankan berbagai algoritma pengolahan data dan lain sebagainya. Pada *node* WSN, Kualitas, ukuran, dan frekuensi mutlak dipengaruhi oleh ketersediaan sumber daya pada layer fisik. Oleh karena itu, desain arsitektur pada *node* merupakan hal yang sangat penting. *node* WSN umumnya terdiri dari sistem penginderaan, sistem pengolahan, sistem komunikasi, dan catu daya. Gambar menunjukan contoh arsitektur dasar dari *node* WSN [10].



Gambar 2.2 Contoh Arsitektur *Node* WSN

Dalam proses desain *node*, Desainer memiliki beberapa pilihan dalam memutuskan bagaimana membangun dan mengumpulkan beberapa sistem tersebut ke dalam satu kesatuan. Dengan kata lain, desainer memiliki banyak opsi untuk menentukan type prosesor yang cocok sesuai kebutuhan baik dari segi



fleksibilitas, segi efisiensi, segi energi, segi performansi dan lain lain. Ada beberapa type prosesor sebagai pilihan antara lain Mikrokontroler, DSP (Digital Signal Processing) modul, ASIC (Aplication Specific Integrated IC), dan FPGA (Field Programable Gate Array). Arsitektur *node* WSN pada thesis ini adalah menggunakan mikrokontroller dengan pertimbangan dari segi fleksibilitas terhadap komunikasi optik.

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan mikrokontroller sebagai prosesor utama telah diusulkan dimana pada penelitian tersebut mikrokontroller At Mega 128 digunakan untuk komunikasi optik berbasis VLC (Visible Light Communication) pada WSN [11]. Adapun penelitian lain yang lebih aplikatif adalah mikrokontroller At Mega 128 digunakan sebagai prosesor utama pada under water WSN. Pada penelitian tersebut, tanggung jawab mikrokontroller tidak hanya mencakup komunikasi akustik dua arah dan sensing, tetapi juga mobiltas *node* sehingga hampir menyerupai kinerja sebuah robot [12]. Dua penelitian tersebut membuktikan bahwa mikrokontroller khususnya type AT Mega layak untuk dijadikan sebagai prosesor utama pada *node* WSN. Selain itu mikrokontroller telah terbukti sangat fleksibel dengan berbagai macam komunikasi baik optik maupun akustik yang umumnya desain dan implementasinya bisa sangat beragam sesuai keinginan desainer. Untuk itu, pada thesis ini digunakan mikrokontroller At Mega sebagai prosesor utama.

### **2.1.2 Protokol MAC**

Secara umum, media komunikasi pada WSN digunakan secara bersama oleh banyak *node* untuk melakukan aktivitas transmisi informasi. Pada penggunaan media komunikasi, dibutuhkan regulasi dan penjadwalan untuk menghindari terjadinya tabrakan pada lalu lintas data informasi. Hal ini biasa disebut sebagai Protokol MAC (Media Access Control) yang merupakan sub layer dari data link pada model OSI layer. Layer ini bertanggung jawab untuk mengatur akses untuk multi user [10]. Proses desain WSN membutuhkan protokol MAC untuk mengakomodir aktivitas pertukaran informasi antar *node*. Pada thesis ini digunakan 2 buah protokol yaitu TDMA (Time Division Multiple Access) dan CSMA (Carrier Sense Multiple Access).

Alasan menggunakan dua skema protokol MAC adalah pada TDMA, kemungkinan terjadinya tabrakan informasi memang sangat kecil karena aktivitas transmisi pada *node* sudah terjadwal pada waktu yang berbeda sesuai time slot. Ketika satu *node* mati, maka time slot menjadi menganggur. Hal ini dapat diatasi jika masing masing *node* memiliki inisiatif untuk mengambil alih slot yang ditinggalkan. Untuk itu, hal yang harus dimiliki oleh tiap *node* adalah kemampuan *sensing*. Bila hal ini terpenuhi, maka time slot pada protokol TDMA menjadi dinamis. Untuk alasan inilah, pada thesis ini digunakan pula protokol CSMA untuk mendukung penjadwalan berbasis *sensing*.

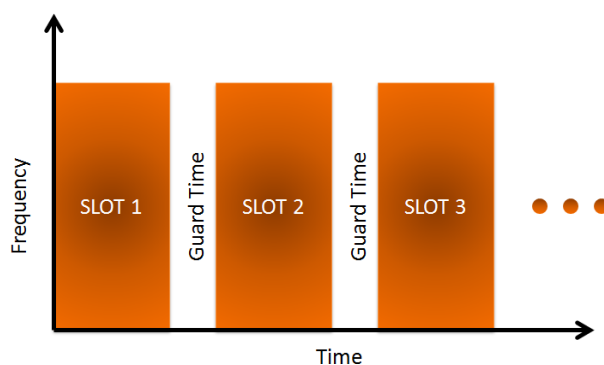
Penelitian sebelumnya telah diusulkan time slot dinamis dengan mengkombinasikan keunggulan dari protokol TDMA dan CSMA. Protokol tersebut dinamakan Z-MAC. Pada protokol ini, tiap time slot memiliki lebih dari satu pemilik slot. Untuk menghindari tabrakan, pemilik slot diberlakukan prioritas [13]. Adapun penelitian lain adalah usulan tentang *iQueue* MAC yang juga merupakan gabungan dari TDMA dan CSMA. Protokol ini memiliki struktur pohon dimana Cluster Head memiliki kendali penuh atas routing [14]. Kedua protokol yang diusulkan pada penelitian sebelumnya memiliki kesamaan dimana saat jaringan lenggang berfungsi selayaknya CSMA sedangkan saat jaringan sibuk, maka berfungsi selayaknya TDMA.

#### **2.1.2.1 Protokol TDMA**

Protokol TDMA memungkinkan beberapa *node* WSN untuk menggunakan band frekuensi yang sama. Sebagai gantinya, *node* WSN menggunakan jendela periodik waktu secara berbeda yang disebut sebagai *frame* [10]. Protokol TDMA terdiri dari beberapa slot waktu yang bersifat tetap atau permanent dan telah direncanakan pada saat awal desain suatu jaringan. Implementasi dari protokol TDMA adalah sebuah penjadwalan yang mengatur masing-masing *node* untuk mengirimkan data informasi pada slot yang telah ditentukan. Dalam hal ini tiap slot hanya boleh digunakan oleh satu dari sekian banyak *node* WSN. Dengan kata lain, protokol TDMA memungkinkan banyak *node* WSN untuk melakukan transmisi informasi secara bergilir sesuai urutan waktu. Tiap slot dipisahkan oleh jeda waktu yang disebut sebagai *Guard Time*

yang berfungsi sebagai pengaman dan toleransi perpindahan ke slot berikutnya [15].

Keuntungan dari protokol TDMA adalah *node* tidak perlu bersaing untuk melakukan proses pengiriman, hal ini dimaksudkan untuk menghindari tabrakan informasi. Sedangkan kelemahan dari TDMA adalah ketika terjadi perubahan pada topologi jaringan, alokasi slot tidak dapat menyesuaikan karena slot bersifat permanent. Pada kondisi ini, protokol TDMA menjadi tidak efisien. Adapun ilustrasi dari penjadwalan TDMA adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 [15].



Gambar 2.3 Ilustrasi Penjadwalan TDMA.

#### 2.1.2.2 Protokol CSMA

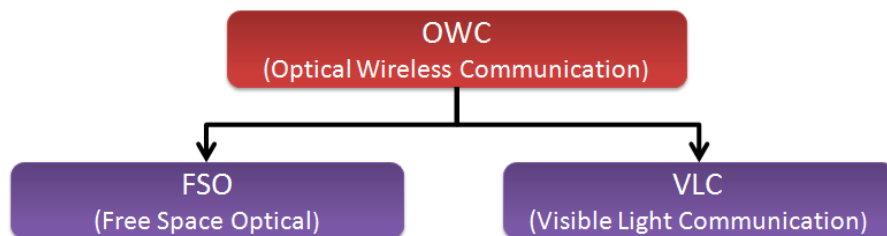
Protokol CSMA merupakan protokol MAC di mana *node* mendeteksi adanya aktivitas transmisi oleh *node* lain sebelum melakukan transmisi data informasi [10]. Aktivitas pendeteksian ini disebut sebagai *sensing*. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya tabrakan. Ada beberapa mode pada protokol CSMA antara lain *Non-Persistent*, *1-Persistent*, *P-Persistent* dan *O Persistent*. Pada thesis ini mode yang digunakan adalah *Non-Persistent*.

Pada protokol *non persistent CSMA*, *node* WSN diperbolehkan untuk segera mengirimkan data setelah mengetahui adanya time slot yang mengganggu. Ketika *node* hendak melakukan transmisi, maka dilakukan *sensing* untuk verifikasi keadaan time slot. Jika time slot dalam keadaan sibuk, maka *node* melakukan operasi backoff, yaitu menunggu selama selang waktu yang acak. Proses ini diulang terus menerus hingga slot terdeteksi mengganggu. Pada

protokol *1-persistent* CSMA, jika slot dalam keadaan sibuk, *node* menunggu sambil secara kontinyu melakukan sensing hingga slot terdeteksi kosong dan kemudian *node* melakukan transmisi. CSMA/CD merupakan varian dari CSMA yang menggunakan *1-persistent*. Pada protokol *P-persistent* CSMA, jika time slot dalam keadaan menganggur, maka *node* akan melakukan transmisi dengan probabilitas  $p$ . Jika time slot sedang dipakai, maka *node* akan menunggu seperti pada protokol CSMA lainnya. Pada protokol *O-persistent* CSMA, satu *node* bertugas sebagai supervisor yang memantau aktivitas jaringan dan melakukan komando terhadap *node* lain. Ketika ada *node* yang mati, maka ada time slot yang menganggur. Pada kondisi ini, supervisor memberi komando pada *node* yang memiliki antrian selanjutnya. Pada protokol ini, meskipun ada *node* yang mati, namun penjadwalan tetap berurutan.

## 2.2 Sistem Komunikasi Optik

OWC (*Optical Wireless Communication*) merupakan salah satu sistem komunikasi optik yang mengacu pada transmisi media propagasi terarah melalui penggunaan cahaya sebagai gelombang pembawa (*Carrier*). Adapun gelombang cahaya yang digunakan adalah Gelombang cahaya tampak ( Cahaya Putih dan Cahaya Merah sampai dengan Ungu ), cahaya inframerah (IR) dan cahaya ultraviolet (UV). OWC yang menggunakan cahaya tampak sering disebut sebagai VLC (*Visible Light Communication*) sedangkan teknologi OWC yang memanfaatkan cahaya inframerah ataupun ultraviolet sering disebut sebagai FSO (*Free Space Optical*) [16].



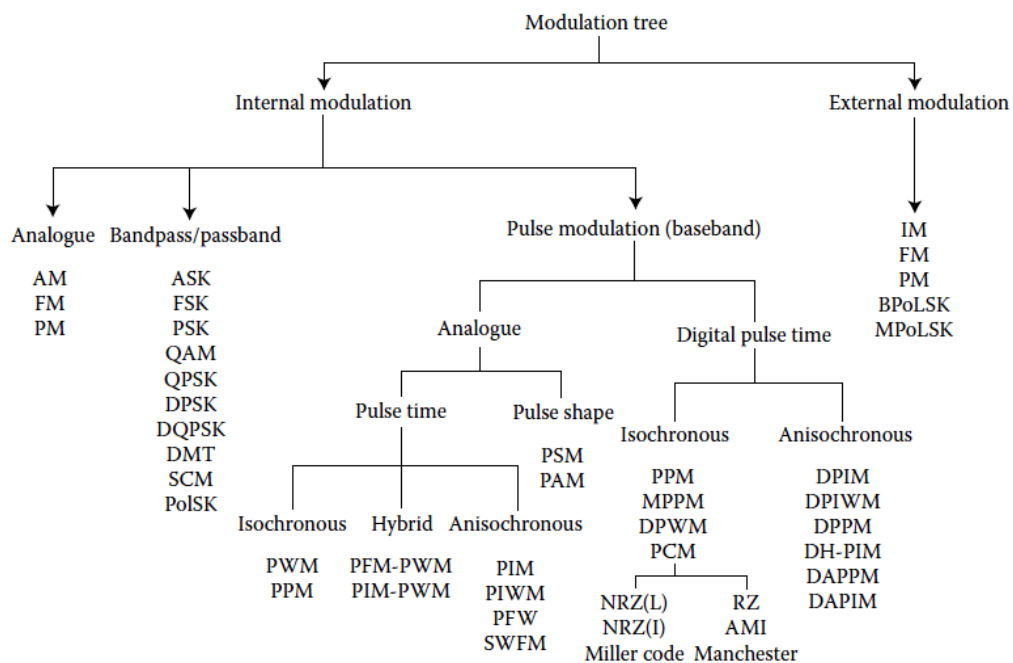
Gambar 2.4 Optical Wireless Communication

Komunikasi FSO (*Free Space Optical*) digunakan untuk *rate* tinggi dan bersifat *point to point* dengan jarak pancar hingga pada kisaran kilometer. Dari

segi komparasi, FSO memiliki bandwidth dan kecepatan data yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan komunikasi menggunakan teknologi RF. Dalam hal ini desain perangkat WSN pada penelitian yang akan diusulkan adalah menggunakan komunikasi FSO dengan jenis cahaya *Infrared* (IR).

### 2.2.1 Teknik Modulasi Pada OWC / FSO

Pada penelitian yang akan diusulkan, algoritma konsensus rata-rata terdistribusi diimplementasikan pada perangkat WSN berbasis komunikasi FSO. Terdapat beberapa teknik modulasi yang dapat digunakan pada komunikasi FSO seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 [17].



Gambar 2.5 Modulation Tree

Teknik modulasi pada optik umumnya diadopsi dari modulasi RF. Namun tidak serta merta mudah untuk dilakukan karena kekuatan transmisi pada OWC dibatasi oleh banyak faktor antara lain keselamatan mata, keterbatasan fisik komponen dan konsumsi daya. Dalam komunikasi FSO pada lingkungan *outdoor*, untuk mengatasi pelemahan karena kabut, maka digunakan cahaya *LASER* dengan kekuatan yang lebih tinggi, tetapi hal ini juga dibatasi oleh standar keselamatan mata. Dua skema teknik modulasi yaitu QAM (Quadrature Amplitudo Modulation) pada DMT (Diskrit Multi Tone) dan Multilevel PAM (Pulse

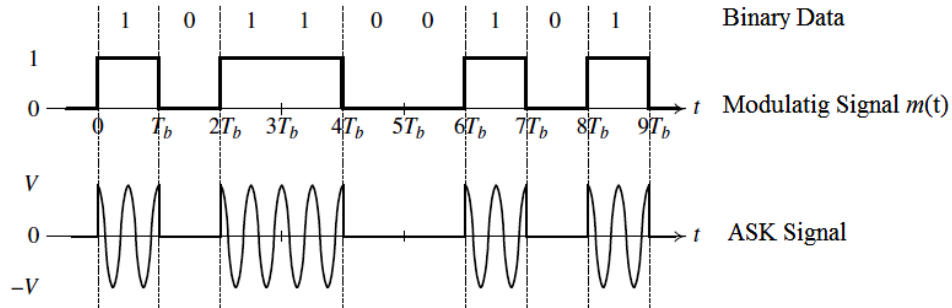
Amplitudo Modulation) merupakan teknik modulasi yang efisien dari segi spektrum dan cocok untuk komunikasi optik berbasis komponen LED. Namun dari segi efisiensi daya sangat minim [18]. DMT merupakan implementasi dari OFDM [19] dan sangat kebal terhadap noise frekuensi rendah terutama noise dari cahaya buatan semisal lampu TL ataupun lampu pijar [20]. Teknik modulasi L-PAM dan L-QAM dapat memberikan efisiensi bandwidth yang lebih tinggi namun efisiensi daya berkurang. Sedangkan modulasi L-PPM dan L-DPIM dapat mencapai efisiensi daya yang lebih tinggi tetapi mengorbankan bandwidth. Karena alasan pembatasan daya optik, maka teknik modulasi yang paling umum digunakan adalah yang berbasis OOK (*On Off Keying*) semisal PPM (Pulse Position Modulation) dan DPIM (Digital Pulse Internal Modulation). Sedangkan modulasi paling sederhana berbasis OOK adalah Optical ASK.

### 2.2.2 Teknik Modulasi ASK

Teknik modulasi ASK merupakan merupakan varian dari teknik modulasi berbasis OOK (*On Off Keying*). Pada thesis ini, digunakan teknik modulasi ini untuk mendukung komunikasi antar *node*. Adapun alasan menggunakan modulasi ini adalah pertimbangan dari segi desain arsitektur. Pada thesis ini digunakan mikrokontroller yang memiliki kemampuan komputasi yang terbatas sehingga pemilihan teknik modulasi yang sederhana lebih diutamakan. Sistem modulasi OOK adalah teknik modulasi yang cukup sederhana bila mengacu pada kemampuan komputasi pada mikrokontroller. Sedangkan teknik modulasi yang paling sederhana dari OOK adalah Optical ASK. Pada penelitian sebelumnya telah diusulkan modulasi OOK menggunakan manchester code dengan line coding NRZ. Skema ini berjalan dengan baik pada arsitektur WSN dengan mikrokontroller sebagai prosesor utama [11]. Adapun kesamaan penelitian tersebut dengan thesis ini adalah kesamaan arsitektur dan line coding yang digunakan.

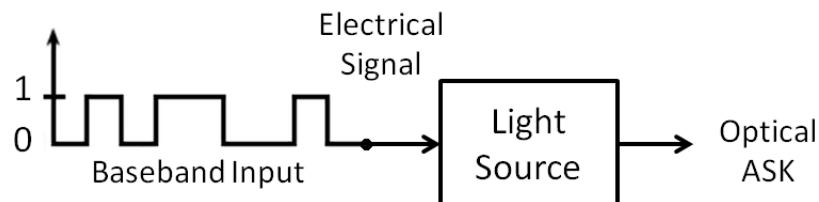
Pada modulasi ASK, simbol biner “1” direpresentasikan dengan mentransmisikan sinyal *carrier* dengan amplitudo maksimum  $A_c$  dan frekuensi  $F_c$  yang konstan selama durasi bit  $T_b$  detik. Amplitudo frekuensi pembawa akan berubah sesuai dengan logika bit pada sinyal informasi. Sedangkan simbol biner

“0” direpresentasikan dengan tanpa mengirimkan sinyal *carrier* selama durasi bit  $T_b$  detik [21].



Gambar 2.6 Bentuk Sinyal Pada Modulasi ASK

Teknik modulasi ASK juga diterapkan pada komunikasi OWC / FSO. Adapun prinsip kerjanya adalah sumber cahaya baik itu berupa LED maupun LASER dimodulasi sesuai sinyal informasi. Jika informasi berupa bit 0 dan 1, maka Sumber cahaya akan dinyalakan pada saat logika 1 dan dipadamkan saat logika 0. Gambar 2.7 menunjukan blok diagram menunjukkan blok dari sebuah *optical ASK modulator*.



Gambar 2.7 Diagram Blok *Optical ASK Modulator*.

Sinyal informasi berperan sebagai arus kemudi pada sumber cahaya. Hal ini membuat sumber cahaya on-off sesuai sinyal informasi. Sinyal informasi ini dibuat dengan level tegangan sedekat mungkin dengan *threshold*. Agar sumber cahaya hanya mengenal 2 kondisi yaitu benar benar menyala atau benar-benar padam untuk menghindari efek *transient* yang dapat menghasilkan kesalahan bit pada penerima. Rasio energi cahaya antara bit 0 hingga ke bit 1 dinyatakan sebagai rasio keredupan atau *extinction ratio* ( $r_e$ ) yang memiliki nilai  $0 < r_e < 0$ . Secara matematis sinyal ASK yang mempresentasikan perubahan bit 0 ke 1 dan sebaliknya selama rentang waktu  $T_b$  dinyatakan dengan [22]:

$$s(t) \begin{cases} s_1(t) = \frac{1}{\sqrt{1+r_e}} A p(t) \cos 2\pi f_c t, \text{ untuk simbol biner 1} \\ s_2(t) = \sqrt{\frac{r_e}{1+r_e}} A p(t) \cos 2\pi f_c t, \text{ untuk simbol biner 0} \end{cases} \quad (2.1)$$

dimana  $p(t)$  adalah bentuk pulsa. Untuk urutan bit yang tak terbatas, sinyal ASK dapat ditulis sebagai berikut:

$$s(t) = A \left[ \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{d_i (1 - \sqrt{r_e}) + \sqrt{r_e}}{\sqrt{1+r_e}} p(t - iTb) \right] \cos 2\pi f_c t \quad (2.2)$$

Dimana  $d_i \in \{0,1\}$  yang mempresentasikan data bit yang ke  $i$  atau bila dinyatakan ke dalam bentuk Low Pass Equivalent adalah sebagai berikut :

$$m(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \frac{d_i (1 - \sqrt{r_e}) + \sqrt{r_e}}{\sqrt{1+r_e}} p(t - iTb) \quad (2.3)$$

Karena bentuk sinyal yang dikirimkan berbentuk square wave, maka energi sinyal untuk bit 0 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$E_1 = \int_0^{T_b} s_1^2 dt = \frac{A^2 T_b}{2} \left( \frac{1}{1+r_e} \right) \quad (2.4)$$

$$E_2 = \int_0^{T_b} s_2^2 dt = \frac{A^2 T_b}{2} \left( \frac{r_e}{1+r_e} \right) \quad (2.5)$$

Modulasi ASK dapat dinyatakan ke dalam diagram konstelasi seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 2.8 Diagram Konstelasi Modulasi ASK

Seperti pada umumnya sistem modulasi, Pada sistem modulasi ASK terdapat parameter probabilitas error. Karena pada penelitian ini menggunakan sistem modulasi jenis Binary ASK ( BASK), maka hanya ada 2 sinyal yaitu  $s_1$  dan  $s_2$ . Probabilitas sinyal  $s_1$  yang dikenali sebagai  $s_2$  dinyatakan secara matematis kedalam persamaan berikut [21]:



$$P[\text{error}]_{\text{BASK}} = Q \left( \sqrt{\frac{E_{\text{BASK}}}{2N_0}} \right) \quad (2.6)$$

### 2.2.3 Optical Link Budget

Link Budget merupakan perhitungan yang digunakan untuk menghitung, menganalisa dan memperkirakan kebutuhan daya yang dipancarkan. Sehingga kualitas penerimaan sesuai dengan standar yang diinginkan. Perhitungan link budget secara sederhana dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [23] :

$$P_r = P_t + G_{tx} + G_{rx} - Loss \quad (2.7)$$

Dimana:

- $P_r$  = Daya Penerima (dBW)
- $P_t$  = Daya Pemancar (dBW)
- $G_{tx}$  = Gain Pemancar (dB)
- $G_{rx}$  = Gain Penerima (dB)
- $Loss$  = Total kerugian (dB)

Redaman Atmosfer (*Atmospheric Turbulence*) adalah tantangan terbesar pada link komunikasi FSO yang dapat menyebabkan kehilangan sinyal dan kegagalan komunikasi. Redaman atmosfer tidak hanya melemahkan gelombang cahaya tetapi juga mendistorsi dan menekuknya. daya yang ditransmisikan dari sinyal yang dipancarkan sangat dipengaruhi oleh hamburan dan fenomena turbulensi. Pelemahan ini terutama hasil dari penyerapan dan hamburan oleh molekul dan partikel udara (*aerosol*). Redaman atmosfer didefinisikan sebagai proses dimana sebagian atau seluruh energi gelombang elektromagnetik hilang saat melintasi atmosfer. Dengan demikian, atmosfer menyebabkan degradasi sinyal dan redaman dalam sistem link FSO. Adapun redaman meliputi penyerapan, hamburan, dan kilauan. Semua efek ini bervariasi terhadap waktu dan bergantung pada lokasi, kondisi dan cuaca. Secara umum redaman atmosfer dinyatakan dalam persamaan berikut pada skala dB [23].

$$Loss = \tau = 4.3429 \times \beta_a \times L \quad (2.8)$$

Dalam hal ini Redaman Atmosfer disimbolkan sebagai ( $\tau$ ), Total koefisien redaman yang berasal dari aerosol udara disimbolkan sebagai  $\beta_a$  dan jarak dari pemancar ke penerima disimbolkan sebagai ( $L$ ) pada skala meter. Koefisien redaman aerosol udara  $\beta_a$  dapat di nyatakan dalam persamaan berikut [23]:

$$\beta_a = \frac{3.91}{V} \left( \frac{0.55}{\lambda} \right)^i \quad (2.9)$$

Dalam hal ini, 0.55 merupakan panjang gelombang cahaya infrared sebesar 550 nm atau dinyatakan dalam  $\mu\text{m}$  menjadi 0,55. Panjang gelombang ini dipakai sebagai acuan karena merupakan panjang gelombang cahaya yang paling sensitif bagi manusia. Kemudian 3.91 merupakan visibilitas untuk panjang gelombang tersebut dalam kilometer (Km).  $V$  adalah visibilitas atau kondisi jarak pandang pada proses desain dalam skala kilometer (Km). Panjang gelombang Infrared yang didesain disimbolkan dalam  $\lambda$  dengan skala  $\mu\text{m}$ . Kemudian  $i$  merupakan ukuran distribusi dari scattering partikel dimana:

- $i = 1,6$  untuk  $V > 50 \text{ Km}$  (Visibilitas sangat baik)
- $i = 1.3$  untuk  $6 \text{ Km} \leq V \leq 50 \text{ Km}$  (Visibilitas normal)
- $i = 0.585$  untuk  $V < 6 \text{ Km}$  (Visibilitas kurang)

### 2.3 Algoritma Terdistribusi

Algoritma terdistribusi pada WSN merupakan hal yang penting dalam lalu lintas informasi. Gagasan berkaitan dengan algoritma distribusi berasal dari konsep WSN dimana *node* sensor bekerja secara kooperatif melakukan pengamatan pada lingkungan. Kooperatif tidak hanya berkaitan dengan komunikasi, tetapi juga pengambilan keputusan terhadap data informasi [1]. Algoritma terdistribusi memungkinkan pengolahan data informasi secara desentralisasi. Algoritma distribusi memberikan banyak keuntungan dibandingkan pengolahan terpusat. Keuntungan tersebut adalah daya komputasi menjadi lebih besar. Selain itu, data informasi lebih tahan jika terjadi kegagalan *node* [24].

Permasalahan utama pada algoritma terdistribusi adalah *node* WSN tidak bisa disamakan seperti halnya *cluster* komputer. Algoritma distribusi merupakan

hal yang tidak mudah untuk diimplementasikan karena pada *node* WSN selain memiliki komputasi yang kecil, umumnya tidak memiliki informasi tentang topologi jaringan. Untuk itu, perlu dilakukan perancangan algoritma distribusi secara hati-hati dan tepat agar selalu mencapai konvergensi. Telah banyak upaya pendekatan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu contoh adalah pendekatan berbasis konsensus rata-rata dan pendekatan lain yang lebih kompleks semisal Distributed Least-Mean Squares (LMS), Recursive Least-Squares (RLS) dan Projection Approximation Subspace Tracking (PAST) [24]. Algoritma konsensus rata-rata merupakan algoritma terdistribusi yang sederhana dan sangat berpotensi untuk diimplementasikan pada hardware WSN [25]. Untuk itu, pada thesis ini algoritma terdistribusi yang digunakan adalah konsensus rata-rata.

### **2.3.1 Algoritma Konsensus Rata-Rata**

Algoritma konsensus rata-rata merupakan varian dari algoritma konsensus pada WSN [26]. Algoritma konsensus memungkinkan data yang diperoleh setiap *node* sensor secara iteratif diperbarui oleh data dari *node* sensor tetangganya. Adapun yang dimaksud dengan sensor tetangga adalah sensor yang terhubung secara langsung secara single hop. Dalam hal ini, setiap sensor bekerja sama melakukan penginderaan terhadap suatu besaran fisik dari lingkungan. Kemudian setiap *node* akan bertukar data informasi hingga mencapai suatu konvergensi dimana setiap *node* memiliki persepsi yang sama tentang informasi dari kondisi yang sedang diamati. Algoritma konsensus rata-rata mengupayakan terjadinya konvergensi dengan melakukan perhitungan rata-rata pada data yang diperoleh baik dari sensing maupun data dari *node* tetangga. Algoritma ini bertujuan untuk menjamin keakuratan data informasi dengan cara mengkombinasikan data dari banyak sensor. Algoritma ini juga menjadi solusi keberagaman data yang diperoleh banyak sensor. Di sisi lain, bila hanya menggantungkan kinerja satu sensor, maka besar kemungkinan data informasi dipengaruhi oleh error penginderaan pada sensor.

Permasalahan utama pada algoritma konsensus adalah begitu banyak informasi yang diperoleh sensor, namun dari sekian banyak sensor sangat minim pengetahuan bahwa data informasi tersebut apakah sudah mencapai akurat.

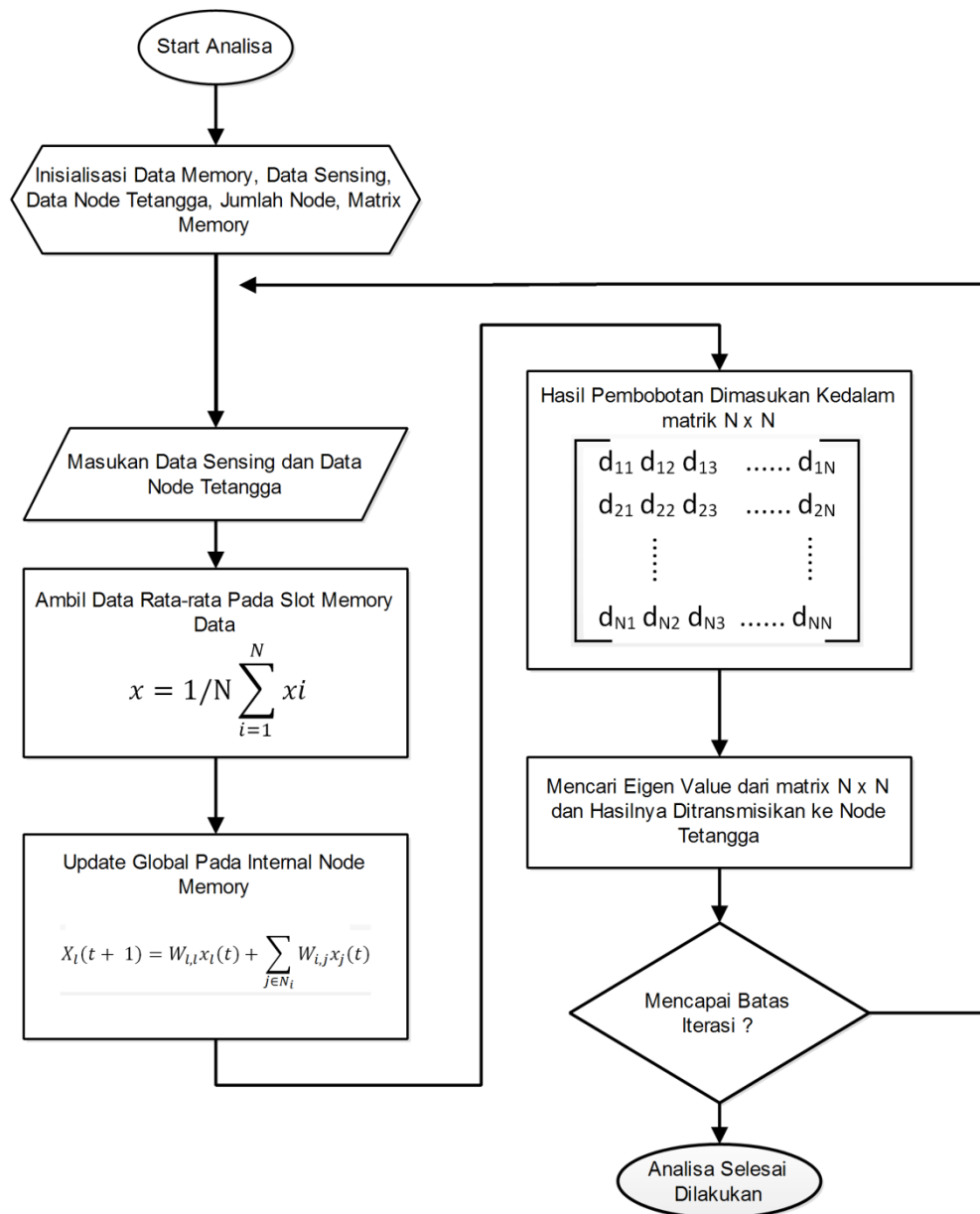
Dengan kata lain, ada kesenjangan antara informasi dan kesadaran global. Contoh permasalahan lain adalah sensor tidak memiliki cukup pengetahuan tentang data spasial maupun temporal. Algoritma konsensus sederhana tidak akan cukup untuk mengatasi permasalahan tersebut. Maka dibutuhkan estimasi terdistribusi yang dapat memperkirakan perilaku data informasi terhadap perubahan fisik lingkungan. Dengan demikian data yang dikonsensuskan oleh masing-masing sensor bukan data mentah. Jika hal ini terpenuhi, maka hasil konsensus adalah data informasi yang terjamin akurat [26].

Pada penelitian sebelumnya telah diusulkan berkaitan dengan penggabungan antara algoritma konsensus rata-rata dengan estimasi terdistribusi. Antara lain adalah penelitian yang mengusulkan desain pembobotan pada operasi matriks untuk konvergensi cepat [27]. Dari penelitian ini kemudian dikembangkan dengan penambahan prediksi informasi secara lokal [28]. Prediksi informasi lokal yang merupakan inti dari estimasi kemudian dikembangkan dan diimplementasikan kedalam sebuah ingatan *node* (*memory*) [9]. Pada penelitian lain, upaya konvergensi terletak pada pembatasan minimum jumlah iterasi [29]. Selain itu pernah diusulkan tentang penggabungan antara algoritma konsensus dengan estimasi Laplacian [30]. Dari semua usulan matematis pada penelitian sebelumnya, tentu saja sangat sulit untuk diimplementasikan kedalam arsitektur WSN dengan komputasi terbatas. Diantara beberapa usulan tersebut, pendekatan yang paling relevan adalah estimasi terdistribusi berbasis ingatan *node*. Mikrokontroler merupakan salah satu jenis arsitektur WSN dengan kemampuan komputasi terbatas, namun cukup memadai dalam hal sumber daya memory. Untuk itu pada thesis ini, algoritma konsensus mengacu pada algoritma konsensus rata rata dengan short *node* memory [9].

### **2.3.2 Estimasi Terdistribusi Menggunakan *Short Node Memory***

Inti dari algoritma estimasi terdistribusi pada thesis ini adalah, setiap *node* menyimpan dan mempertahankan semua data informasi yang telah dikumpulkan dari awal hingga akhir penginderaan pada beberapa alamat memory. Kemudian dilanjutkan dengan proses penyimpanan data informasi dari *node* tetangga dan diakhiri dengan perhitungan rata-rata [9]. Ketika jaringan mulai terdeteksi tanda

tanda konvergensi, maka semua data informasi pada memory akan dikosongkan dan diisi dengan data informasi yang baru. Aktivitas ini disebut sebagai *Short Node Memory*. Dalam hal ini yang dimaksud dengan *node* tetangga adalah *node* lain yang memiliki kemungkinan besar memiliki kesamaan data informasi. Gambar 2.9 menunjukkan flowchart dari algoritma konsensus rata-rata dengan *short node memory*.



Gambar 2.9 Flow Chart Algoritma Konsensus Rata-Rata

Adapun detail dari alur algoritma konsensus rata-rata dapat diuraikan antara lain sebagai berikut [9].

- *Node* disimbolkan sebagai  $N$ . dan jumlah *node* disimbolkan sebagai  $N$ . Maka  $N_i \subseteq \{ 1, \dots, N \}$ . Dimana  $N_i$  adalah himpunan *node* dengan *node* lain  $i$  yang terhubung secara langsung ( *node* tetangga ).
- Kemudian  $j$  merupakan *node* yang tidak terhubung langsung. Konektivitas diatur dalam keadaan simetris. Dengan kata lain semua *node* akan melakukan proses rata-rata dan update global secara serempak.
- Masing-masing *node*  $i = 1, \dots, N$  memiliki nilai skalar yang disimbolkan sebagai  $x$  dan  $x_i$  adalah bilangan real.
- Sehingga aktivitas perhitungan rata-rata dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$x = 1/N \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.10)$$

- Kemudian dilakukan update global secara linier dengan menggunakan persamaan berikut [9].

$$X_l(t + 1) = W_{l,l}x_l(t) + \sum_{j \in N_i} W_{i,j}x_j(t) \quad (2.11)$$

Dimana  $\sum_j W_{ij} = 1$  dan  $W_{ij} \neq 0$  Dan hanya jika  $j \in N_i$ .

- Kemudian nilai dari  $x_i(t), \dots, x_N(t)$  dimasukkan kedalam vektor kolom secara iteratif. Secara sederhana hal ini dinamakan sebagai iterasi linier. Atau dapat dinyatakan dengan  $x(t + 1) = Wx(t)$ .
- Misal jika  $1$  adalah Vector ke  $1$ , maka kondisi  $W$  pada vektor  $1$  menunjukkan kondisi konvergensi. Dengan kata lain konvergensi bisa dianalisa dari kondisi  $W$ .

$$W1=1, 1^T W = 1, p(W - J) < 1 \quad (2.12)$$

Dimana  $J$  adalah sebuah matrix yang didalamnya terdapat hasil rata-rata.

Dan  $J$  dapat dinyatakan kedalam persamaan  $J = 1/N_{11}^T$  dan  $p(A)$

menandakan radius spektral matriks  $A$ . Atau dapat dinyatakan dalam persamaan

$$\rho(A) = \max_i \{ |\lambda_i| : i = 1, 2, \dots, N \} \quad (2.13)$$

dimana  $\{\lambda_i\}_{i=1}^N$  menandakan eigenvalue dari  $A$ .

➤ Proses ini akan berlanjut hingga jumlah iterasi tercapai.

### 2.3.3 Algoritma Konsensus Pada Noisy Chanel

Pembahasan ini berkaitan dengan perbedaan noise pada media komunikasi RF dengan FSO khususnya Infrared serta keterkaitan dengan algoritma konsensus. Noise merupakan tantangan besar bagi algoritma konsensus baik pada RF maupun FSO Infrared. Pertukaran data informasi antar *node* untuk mencapai konvergensi idealnya tidak terganggu oleh masalah noise maupun gangguan komunikasi yang dapat menyebabkan kesalahan analisa maupun estimasi. Pada link komunikasi berbasis RF, Kesalahan diantara estimasi dan rata-rata kebenaran dapat dimodelkan secara gaussian dan kovarian dapat ditentukan oleh grafik laplacian [31]. Beberapa usaha telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini. Salah satunya adalah penerapan metode *Average Network Distribution* (A-ND) yang kemudian disederhanakan menjadi metode *Average Network Consensus* (A-NC) dan jenis noise yang dimodelkan adalah AWGN [32]. Metode penyelesaian masalah dari 2 penelitian sebelumnya tidak dapat di implementasikan pada penelitian ini karena perbedaan jenis media komunikasi, jenis gangguan dan keterbatasan kemampuan processor.

Pada link komunikasi berbasis FSO Infrared, pada lingkungan indoor, gangguan umum yang terjadi adalah cahaya yang berasal dari *Artificial Light Interference*. Cahaya ini merupakan cahaya buatan yang menjadi cahaya ambient pada lingkungan tersebut. Adapun beberapa contoh antara lain lampu pijar, lampu *fluorescence* frekuensi rendah dan lampu *fluorescence* frekuensi tinggi [17]. Pada lingkungan outdoor, cahaya matahari merupakan sumber cahaya alami yang sangat kuat dan tentunya akan mendominasi cahaya yang diterima oleh photodiode pada sistem penerima FSO. Total spektrum baik itu yang berasal dari cahaya artificial maupun alami berkisar antara 830 hingga 1550 nm. Hal inilah yang menjadi tantangan besar bagi media komunikasi FSO [17]. Jika dikaitkan

dengan algoritma konsensus, umumnya pada penelitian sebelumnya, penanganan terhadap noise tidak dilakukan oleh algoritma konsensus tetapi dilakukan pada layer fisik dari sistem komunikasi. Algoritma konsensus hanya mengolah data setelah proses pada layer MAC. Adapun beberapa penelitian yang berkaitan dengan penanganan terhadap noise antara lain adalah peningkatan performa BER dengan pemanfaatan teknologi MIMO pada *infrared diffuse chanel* untuk meminimalisir pengaruh *noise* cahaya ambient [33]. Sistem modulasi Sequence Inverse Keying (SIK) juga pernah diusulkan sebagai upaya untuk meminimalisir dampak dari *Artificial Light Interference* dan pantulan [34]. Sedangkan pada tesis ini, upaya agar data informasi tidak terganggu oleh noise juga dilakukan dari segi layer fisik. Upaya diwujudkan dengan cara pemilihan komponen yang sudah terintegrasi dengan lensa filter dan electrical Band Pass Filter. Komponen tersebut diimplementasikan pada node WSN sebagai infrared *receiver* yang mana dalam hal ini adalah TSOP 34838.

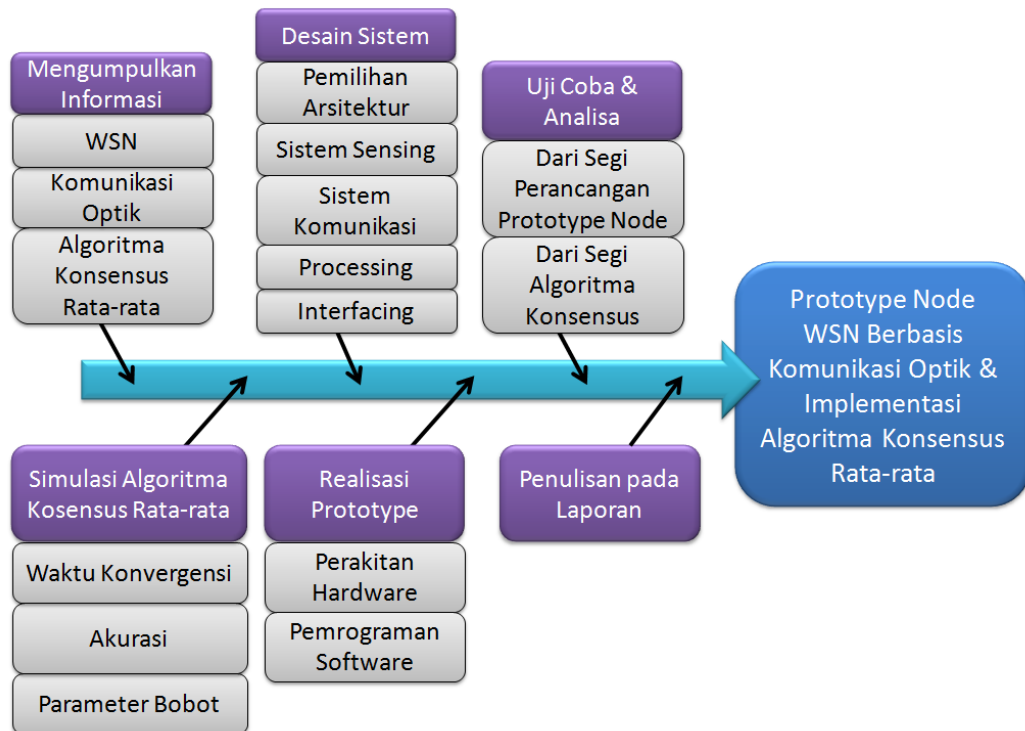


## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan adalah meliputi tahap awal yang berkaitan dengan rancang bangun WSN dengan komunikasi berbasis FSO Infrared. Kemudian dilakukan implementasi algoritma konsensus rata-rata dan penelitian tahap akhir terkait analisa. Adapun beberapa tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Fish Bone Tahapan Penelitian

Adapun rincian dari tahap penelitian adalah sebagai berikut:

a) Tahap Mengumpulkan Informasi.

Pada tahap ini dilakukan pencarian informasi mengenai Teori WSN dan permasalahannya, komunikasi berbasis infrared pada WSN dan algoritma estimasi konsensus rata-rata.

b) Tahap Simulasi

Pada tahap ini dilakukan simulasi algoritma untuk melakukan uji coba pada beberapa parameter algoritma khususnya uji coba parameter bobot dan pengaruhnya terhadap waktu konvergensi. Selain itu dilakukan analisa pengaruh error sensing dan error komunikasi dan pengaruhnya terhadap akurasi.

c) Tahap Desain Sistem

Setelah didapat cukup banyak informasi dan beberapa hasil kesimpulan pada proses simulasi, selanjutnya dilakukan desain sistem yang meliputi pemilihan arsitektur dan perancangan beberapa sub sistem hingga membentuk suatu prototype yang utuh. Adapun sub sistem tersebut antara lain adalah Sub Sistem Sensing, Sub Sistem Komunikasi, Sub Sistem Pengolahan (Processing) & Sub Sistem Interfacing. Adapun detail dari Sub Sistem tersebut akan dibahas lebih detil pada Sub Bab 3.4 hingga 3.12.

d) Tahap Realisasi Prototype

Pada tahap ini, dari segi hardware, dilakukan proses perakitan prototype node WSN. Sedangkan dari segi software, dilakukan penyusunan kode program yang meliputi algoritma untuk seluruh sub sistem. Kode program disusun dan dicompile pada IC Mikrokontroller.

e) Tahap Uji Coba dan Analisa

Setelah prototype node WSN terealisasi, baik itu dari segi hardware maupun software, maka tahap selanjutnya adalah uji coba dari segi perancangan node dan algoritma konsensus. Uji coba perancangan node meliputi kinerja sistem komunikasi, bit rate maksimum, waktu pengiriman informasi dan penjadwalan. Sedangkan uji coba algoritma konsensus meliputi simulasi dan uji coba langsung untuk mencari waktu konvergensi dan akurasi. Adapun detail dari uji coba tersebut akan dibahas lebih detil pada Sub Bab 4.1.1 hingga 4.1.10 dan Sub Bab 4.2.1 hingga 4.2.8.

f) Penulisan Pada Laporan

Laporan disusun mulai dari awal penelitian hingga tahap akhir. Pada tahap akhir, dilakukan penulisan hasil penting dari tahap uji coba dan analisa.

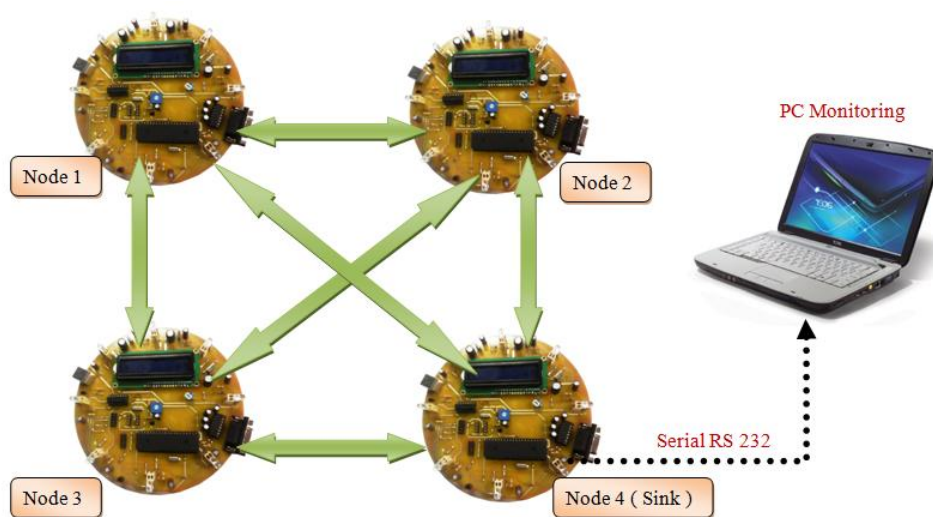
### 3.2 Skenario Lingkungan WSN

Thesis ini mengangkat tema berkaitan dengan suatu kondisi dimana *node* diletakan tidak terlalu jauh satu sama lain untuk mengamati parameter fisik semisal suhu pada area lingkungan yang sama. Misalkan pemantauan suhu pada rumah hidroponik, pemantauan suhu pada sistem penyiram tanaman otomatis, pemantauan suhu pada ruangan industri. Dari tiga contoh aplikasi pada lingkungan, dapat diambil kesimpulan bahwa, umumnya jarak antar *node* tidak terlalu jauh dan media komunikasi yang digunakan kurang efektif bila menggunakan RF. Disamping boros energi, pada media RF rentan terjadi gangguan khususnya pada ruangan industri yang umumnya terdapat banyak motor listrik. Untuk itu pada thesis ini dibuat sebuah desain *node* WSN untuk jarak dekat (kisaran 10 – 15 meter) dengan komunikasi berbasis optik infrared. Adapun alasan menggunakan infrared dibandingkan dengan LASER adalah kemudahan pointing. Dalam hal ini infrared memiliki beam width yang jauh lebih lebar. Kemudian jika dibandingkan dengan VLC (Visible Light Communication), infrared lebih cocok karena tidak akan terpengaruh oleh cahaya lingkungan. Dari segi pola radiasi, desain *node* pada thesis ini dirancang agar bisa memancar secara horizontal ke segala arah.

### 3.3 Skenario Topologi Mesh

Ketika posisi antar *node* tidak terlalu jauh, maka idealnya semua *node* dapat terhubung secara langsung tanpa ada hop. Pada thesis ini, digunakan topologi *Mesh* yang memungkinkan tiap *node* untuk dapat saling terhubung satu sama lain. Disamping itu, skenario dalam hal metode pengiriman adalah broadcast. Sehingga pada saat *node* melakukan pengiriman, data informasi dapat diterima oleh seluruh *node* lainnya. Tujuan lain dari penggunaan topologi *Mesh* adalah memudahkan implementasi algoritma konsensus dimana tiap *node* butuh saling berkomunikasi satu sama lain untuk menemukan konvergensi. Adapun

skenario topologi pada thesis ini adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.2 dimana terdapat 4 *node* WSN yang saling terhubung secara *Mesh*. *Node-4* berfungsi sebagai *cluster head* / *sink node*. 4 *node* tersebut melakukan proses transmit dan receive secara bergantian tanpa ada sinyal perintah dari *Node-4* (*Cluster Head*). Bila dikaitkan dari segi implementasi, hal ini menggambarkan pemantauan parameter fisik dari suatu lingkungan yang dilakukan oleh 4 buah *node* WSN. Digunakan *node* lebih dari satu bertujuan untuk meningkatkan akurasi data. *Node-4* dikoneksikan dengan PC/ Laptop menggunakan komunikasi RS 232 untuk melakukan pemantauan data informasi dan konvergensi.

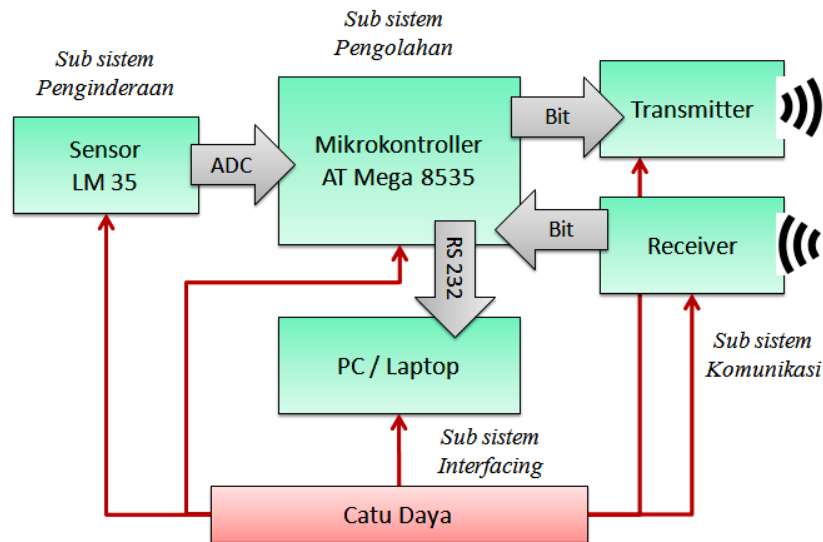


Gambar 3.2 Skenario Topologi Mesh

### 3.4 Pemilihan Arsitektur WSN

Perancangan *node* WSN tidak lepas dari pertimbangan pemilihan arsitektur. Pada thesis ini digunakan arsitektur jenis mikrokontroller dengan alasan fleksibilitas terhadap berbagai macam protokol dan media komunikasi. Adapun type mikrokontroller yang digunakan adalah IC AT Mega 8535 yang merupakan IC keluarga AVR ATMEL. Secara standard, *node* WSN dibangun dari beberapa subsistem antara lain sub sistem penginderaan, sub sistem pengolahan, sub sistem komunikasi, dan catu daya [10]. Untuk itu, pada thesis ini juga dilakukan proses perancangan sub sistem. Sub sistem penginderaan dibangun dari sensor dan ADC (Analog To Digital Converter). Sistem pengolahan adalah

mikrokontroller yang berfungsi sebagai prosesor utama. Kemudian sistem komunikasi yang meliputi *transmitter* dan *receiver* dibangun dari komponen diskrit dan disusun sedemikian rupa agar memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Sebagai tambahan adalah sub sistem interfacing untuk melakukan monitoring data informasi menggunakan PC. Terakhir adalah Catu daya atau sumber listrik yang berasal dari baterai. Untuk menggabungkan seluruh sub sistem menjadi satu kesatuan, maka pada thesis ini, diagram blok subsistem disusun seperti pada Gambar 3.3. Adapun detail dari perancangan sub sistem akan dibahas pada point sub bab 3.5, 3.6, 3.7 dan 3.11.



Gambar 3.3 Desain Arsitektur WSN

### 3.5 Perancangan Sub Sistem Penginderaan

Perancangan sub sistem penginderaan berkaitan dengan skenario sensor dan parameter fisik lingkungan. Pada pembahasan skenario lingkungan, parameter fisik yang diamati adalah suhu. Alasan mengapa digunakan parameter fisik suhu karena suhu dapat dengan mudah untuk dikondisikan sehingga memudahkan kebutuhan analisa. Untuk itu, digunakan sensor suhu LM 35 DZ yang memiliki respon cepat terhadap suhu sekitar. Output dari sensor ini akan mengeluarkan tegangan analog DC sebesar 10 mV tiap 1<sup>o</sup> C. Permasalahan utama pada sensor ini adalah ketidakstabilan data output. Sehingga dari alasan inilah data sensor

digunakan untuk menguji kinerja algoritma konsensus dan menjadikan sebuah tantangan dalam upaya memperoleh konvergensi.

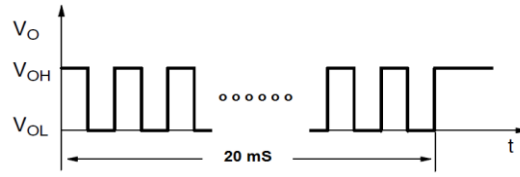
### **3.6 Perancangan Sub Sistem Komunikasi**

Setelah dilakukan perancangan pada sub sistem penginderaan, maka proses selanjutnya adalah perancangan sub sistem komunikasi. Pada thesis ini digunakan media komunikasi optik sebagai pengganti media RF dengan alasan bahwa *node* akan dialokasikan pada jarak yang pendek antara satu sama lain dan bersifat LOS (Line Of Sight). Disamping itu, menghindari kemungkinan gangguan medan elektromagnetik dari motor listrik pada implementasi ruangan industri. Untuk itu pada perancangan sub sistem komunikasi dilakukan beberapa tahap antara lain perencanaan link budget, perencanaan modulator dan perencanaan demodulator. Adapun tahapan perancangan sub sistem komunikasi akan dibahas secara detail pada point sub bab 3.6.1 hingga 3.6.5.

#### **3.6.1 Perencanaan Link Budget**

Perencanaan link budget pada thesis ini digunakan untuk memperkirakan kebutuhan daya pancar dan kemampuan komponen yang digunakan. Jika jarak pancar yang direncanakan berkisar antara 10 hingga 20 meter, maka daya pancar dan kemampuan komponen akan dilakukan penyesuaian. Dari segi komponen pada sisi pemancar (*Transmitter*), digunakan Infrared LED TSAL 7600. Sedangkan pada sisi penerima (*Receiver*) digunakan Infrared *Receiver* type TSOP 34838. Adapun alasan digunakan dua komponen ini karena kompatibilitas satu sama lain, mudah diperoleh, memungkinkan untuk komunikasi pada jarak yang diinginkan.

Dari segi pemancar, adapun parameter pada komponen LED TSAL 7600 yang digunakan untuk analisa Link Budget adalah intensitas radian sebesar 25 mW/ Steradian pada Time Pulse 20 ms. Dalam hal ini tiap arah sudut pancar Infrared LED mengeluarkan emisi cahaya sebesar 25 mW pada *time pulse* selama 20 mS seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Time Pulse 20 mS

Dari segi penerima, parameter pada Infrared *Receiver* TSOP 34838 yang digunakan untuk analisa Link Budget adalah daya minimum yang dapat diterima yaitu sebesar  $0,08 \text{ mW/m}^2$ . Adapun detail dari perencanaan Link Budget secara keseluruhan antara lain sebagai berikut:

- Pada thesis ini gain pada pemancar dan penerima diabaikan, dengan asumsi tidak ada lensa cahaya maupun penguat tambahan. Maka  $G_{tx}$  dan  $G_{rx} = 0 \text{ dB}$ . Sehingga bila mengacu pada persamaan 2.7 ( Sub Bab 2.2.3), maka persamaan Link Budget menjadi:

$$P_{r(\text{dBW})} = P_{t(\text{dBW})} + 0 + 0 - \text{Loss}_{(\text{dB})} \quad (3.1)$$

- Parameter loss dalam satuan dB didapat dari redaman atmosfer  $\tau$ . Jika daya pada pemancar  $P_t$  secara typical adalah sebesar 25mW atau -16 dBW dan daya minimum pada penerima  $P_r$  adalah 0.008 mW atau -41 dBW, Sehingga bila mengacu pada persamaan 2.8 (Sub Bab 2.2.3), maka persamaan Link Budget menjadi:

$$-41_{(\text{dBW})} = -16_{(\text{dBW})} - (4.3429 \times \beta_a \times L)_{(\text{dB})} \quad (3.2)$$

- Kemudian untuk menentukan parameter koefisien redaman  $\beta_a$ , dapat diasumsikan  $V$  (jarak pandang) normal adalah 7 Km maka  $i = 1.3$  (Sub Bab 2.2.3). Panjang gelombang pemancar optik (Infrared LED TSAL 7600) adalah 940 nm atau  $0.94 \mu\text{m}$ . Sehingga bila mengacu pada persamaan 2.9 maka koefisien redaman adalah sebagai berikut:

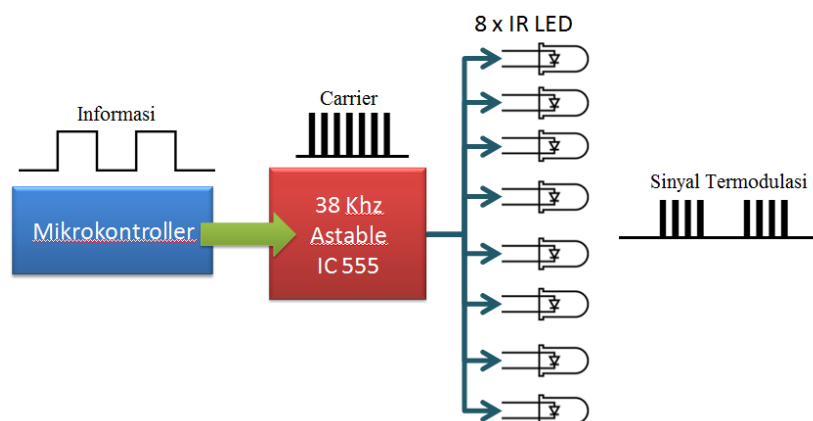
$$\beta_a = \frac{3.91}{7} \left( \frac{0.55}{0.94} \right)^{1.3} = 0.28 \quad (3.3)$$

- Dengan demikian, perencanaan Link Budget secara lengkap menjadi:

$$-41_{(\text{dBW})} = -16_{(\text{dBW})} - (4.3429 \times 0.28 \times L)_{(\text{dB})} \quad (3.4)$$

### 3.6.2 Modulator Optical ASK

Pada thesis ini digunakan modulasi ASK sebagai sistem komunikasi antar *node*. Untuk itu dibutuhkan proses pembangkitan sinyal carrier pada sisi pemancar. Sinyal carrier optical ASK dibangkitkan oleh rangkaian *Astable 555* pada frekuensi 38 KHz dengan bentuk gelombang *square wave* dan pengkodean *NRZ-L (Not Return to Zero Level)*. Adapun alasan dari penggunaan frekuensi carrier 38 KHz adalah karena pada sisi demodulator, TSOP 34838 hanya dapat mendeteksi sinyal informasi dengan frekuensi carrier 38 KHz. Pada proses modulasi, amplitudo sinyal carrier 38 KHz didesain agar mengikuti besar amplitudo dari sinyal informasi pada mikrokontroller. Adapun desain dari modulator ASK adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.5. Disisi lain, agar pemancar optik dapat memancarkan informasi kesegala arah, maka output dari *Astable 555* diumpankan ke 8 Infrared LED yang mewakili 8 arah mata angin.

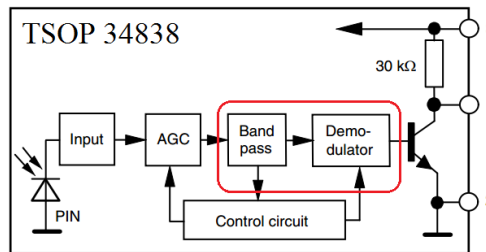


Gambar 3.5 Desain Modulator ASK

### 3.6.3 Demodulator Optical ASK

Seperti pada perencanaan Link Budget, Komponen yang digunakan untuk proses penerimaan sinyal ASK adalah TSOP 34838. Dari segi demodulasi, pada internal TSOP 34838 sudah dilengkapi dengan rangkaian Band Pass dan Demodulator yang secara hardware telah menggantikan fungsi matematis dari penerima ASK. Output dari devais ini hanya mengenal 2 macam kondisi ( High atau Low). Adapun diagram blok dari TSOP 34838 adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.6.

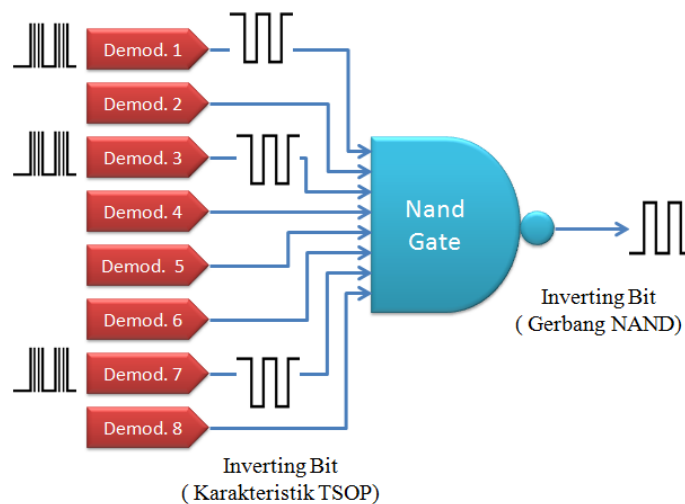




Gambar 3.6 Diagram Blok Internal TSOP 34838

Pada thesis ini, *node* WSN tidak hanya dirancang untuk dapat menerima sinyal informasi berupa cahaya dari berbagai arah mata angin. Namun juga didesain agar dapat menerima dan menyesuaikan kedatangan sinyal informasi dari berbagai arah. Untuk itu digunakan 8 demodulator pada tiap perangkat *node*. Dengan kata lain terdapat 8 devais TSOP 34838 pada satu *node*.

Karena keterbatasan komputasi dari segi arsitektur dan untuk memudahkan pengolahan sinyal pasca proses demodulasi, maka pada desain *node* digunakan *demodulator combiner* yang berfungsi untuk menggabungkan hasil dari 8 demodulator agar seolah-olah merupakan satu kesatuan dengan output tunggal. Untuk mewujudkan rencana ini, maka digunakan IC TTL type 74 LS 30 yang merupakan IC logika NAND 8 input untuk mengolah informasi dari 8 demodulator secara serentak. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.7.

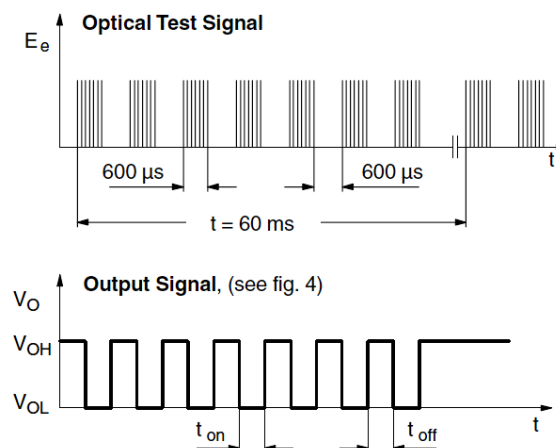


Gambar 3.7 Demodulator Combiner

Misal pada satu *node* terdapat 8 demodulator dimana hanya 3 unit (1,3 dan 7) yang mendeteksi sinyal. Kemudian terjadi pembalikan logika pada output demodulator yang merupakan karakteristik dari TSOP 34838. Kemudian kondisi bit akan ter-recovery kembali oleh sifat dari gerbang NAND sekaligus mengakumulasikan data informasi dari 8 demodulator.

### 3.6.4 Format Sinyal

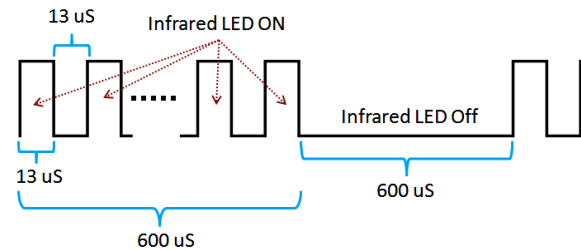
Setelah dilakukan perancangan modulator dan demodulator, maka proses selanjutnya adalah perancangan protokol komunikasi. Pada thesis ini, perancangan protokol komunikasi mempertimbangkan beberapa aspek. Aspek yang pertama adalah format sinyal yang dapat diterima oleh TSOP 43838 sedangkan aspek yang kedua adalah jenis modulasi optik yang digunakan. Untuk itu protokol dirancang agar kompatibel dengan dua aspek tersebut. Dari aspek yang pertama, TSOP dapat menerima sinyal informasi jika mendapat sinyal dengan frekuensi carrier 38 KHz pada periode minimal 600 uS. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Format Sinyal Standard Pada TSOP 34838

Bila aspek ini digabungkan dengan aspek yang kedua yaitu modulasi optical ASK, maka frekuensi 38 KHz dibangkitkan selama durasi 600 uS. Jika periode dari frekuensi 38 KHz adalah sebesar 26 uS ( $F=1/T$ ), maka 13 uS adalah periode On bagi sumber cahaya (Infrared LED) dan 13 uS menjadi periode Off dan berlangsung terus menerus hingga mencapai 600 uS. Dengan demikian waktu  $T_b$  (Time bit) sinyal informasi yang dikirim adalah minimum 600  $\mu s$ . Gambar

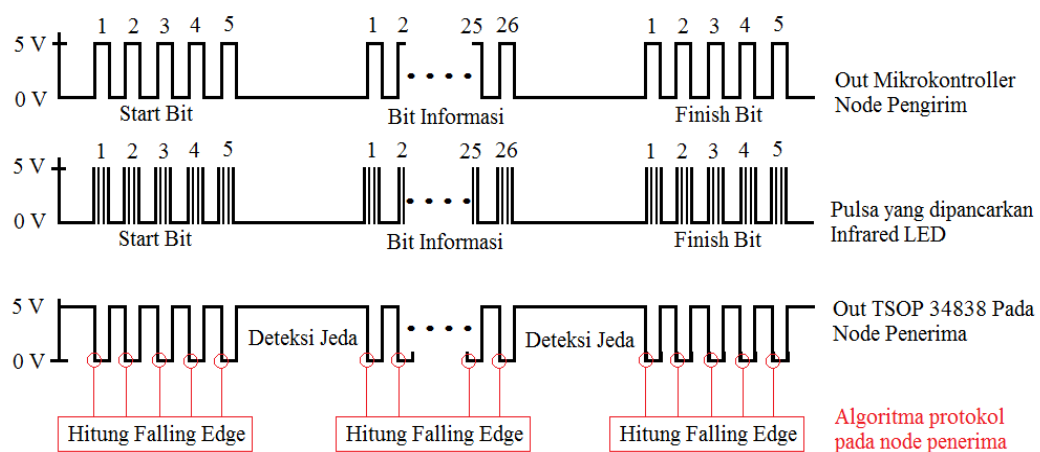
menunjukkan format sinyal yang digunakan pada thesis ini. Format sinyal ini kemudian dikembangkan menjadi protokol komunikasi.



### Gambar 3.9 Format Sinyal Yang Digunakan

### 3.6.5 Protokol Komunikasi

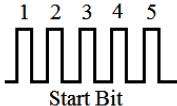
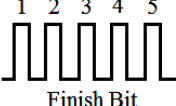
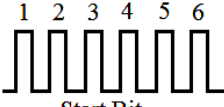
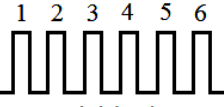


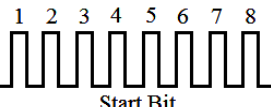
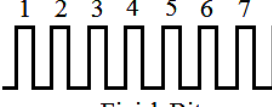
Agar *node* satu dengan yang lain dapat berkomunikasi dan dapat saling mengenali identitas satu sama lain, maka dirancang protokol komunikasi yang terdiri dari bit start, bit informasi dan bit finish. Misal *node* 1 mengirim informasi data suhu lingkungan sebesar 26° Celcius. Agar informasi dapat diterima dengan baik oleh 3 *node* lainnya, maka dibutuhkan protokol yang mengatur bit-bit yang akan dipancarkan. Adapun detail dari protokol yang dirancang pada thesis ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Desain Protokol Komunikasi

Start bit dan Finish bit masing masing berjumlah 5 yang menunjukkan identitas pengirim. Bit informasi berjumlah 26 sebagai tanda bahwa data suhu yang dikirim adalah 26<sup>o</sup> Celcius. Pada penelitian ini, jumlah bit Start dan Finish untuk tiap *node* dirancang berbeda agar dapat dikenali oleh *node* lain. Seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Start Bit Dan Finish Bit Pada Desain Protokol

Alamat	Start Bit	Finish Bit	Keterangan
<i>Node 1</i>	 Start Bit	 Finish Bit	Start Bit dan Finish Bit masing-masing berjumlah 5
<i>Node 2</i>	 Start Bit	 Finish Bit	Start Bit dan Finish Bit masing-masing berjumlah 6
<i>Node 3</i>	 Start Bit	 Finish Bit	Start Bit dan Finish Bit masing-masing berjumlah 7
<i>Node 4</i>	 Start Bit	 Finish Bit	Start Bit dan Finish Bit masing-masing berjumlah 8

Pada *node* penerima, start bit, bit informasi dan finish bit dihitung berdasarkan kemunculan *Falling Edge* yang merupakan perubahan kondisi dari bit 1 ke bit 0 pada output TSOP 34838. Hal ini dilakukan karena setiap 1 siklus square wave, terjadi masing-masing 1 kali *Rissing Edge* dan *Falling Edge*. Sehingga menghitung *Falling Edge* sama dengan menghitung jumlah bit yang dikirim. Selain menghitung jumlah bit, pada *node* penerima juga dilakukan aktivitas pendeteksian jeda antar bit. Pada proses ini dilakukan analisa terhadap informasi yang diterima dan mengklasifikasikan alamat pengirim informasi.

### 3.7 Perancangan Sub Sistem Pengolahan

Perancangan sub sistem pengolahan / *processing* berkaitan dengan mikrokontroller sebagai prosesor utama. Mikrokontroller bekerja berdasarkan algoritma yang telah terprogram. Agar terstruktur, maka pada thesis ini algoritma diklasifikasikan menjadi 3 bagian antara lain adalah algoritma berkaitan dengan sistem operasi dasar, algoritma komunikasi dan algoritma konsensus. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.11. Adapun tahapan perancangan sub sistem pengolahan akan dibahas secara detail pada point sub bab 3.8, 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.11 Pembagian Sub Algoritma

### 3.8 Perancangan Algoritma Sistem Operasi Dasar

Algoritma Sistem Operasi Dasar merupakan algoritma pada masing-masing *node* yang disusun agar *node* dapat menjalankan fungsi dasar WSN. Fungsi dasar meliputi *Sensing* dan konversi ADC. Kemudian fungsi pengambilan keputusan (*Receive data* atau *Transmit data*). Disamping itu fungsi yang mendukung interfacing antara *node* WSN dengan PC/Laptop. Adapun flowchart dari algoritma seperti yang terlihat pada Gambar 3.12. Berdasarkan Flow Chart pada Gambar 3.12, adapun rincian dari alur software sistem adalah sebagai berikut:

#### a) Kosongkan Slot Data

Slot Data merupakan kumpulan variabel pada listing program untuk menyimpan data sementara. Adapun data yang dimaksud adalah data suhu yang berasal dari hasil sensing dan data dari *node* tetangga. Pengosongan memory dilakukan pada saat awal mula bekerja dan setelah melakukan pengiriman. Hal ini dilakukan agar slot data dapat diisi secara aktual.

#### b) Node Melakukan Sensing

*Node* melakukan sensing suhu, dengan membaca nilai ADC dari sensor suhu LM 35. Kemudian data informasi ini akan disimpan sementara waktu untuk dilakukan analisa.

#### c) Node Mencatat Informasi Kedalam Slot Data

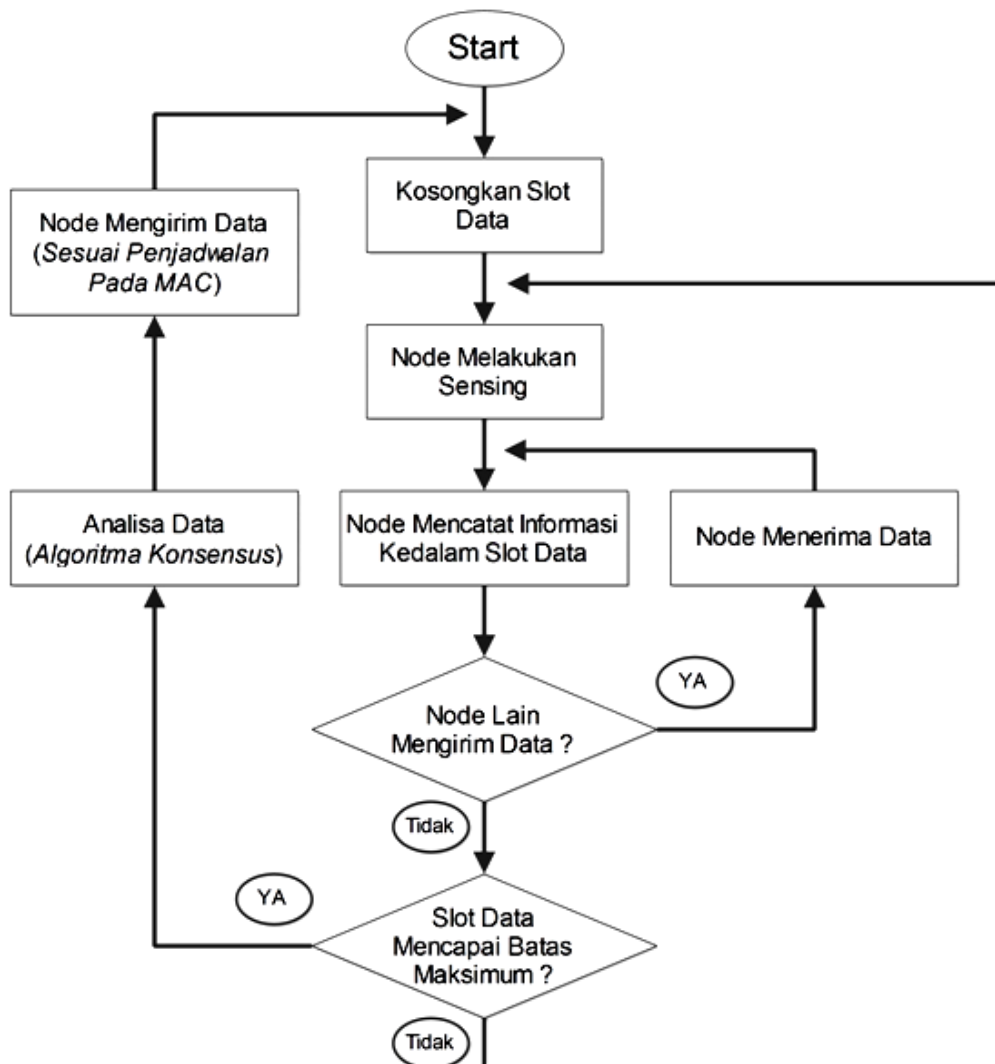
*Node* mencatat semua hasil dan memasukan kedalam slot data. Jika ada *node* tetangga yang sedang mengirim data, maka *node* akan menerima data dan memasukan kedalam slot data.

**d) Node Menganalisa Analisa Data**

Setelah slot data sudah mencapai maksimal, maka semua data yang telah diperoleh dilakukan analisa. Hasil analisa akan dikirim ke *node* lain. Pada tahap ini digunakan algoritma konsensus rata-rata terdistribusi.

**e) Node Mengirim Data**

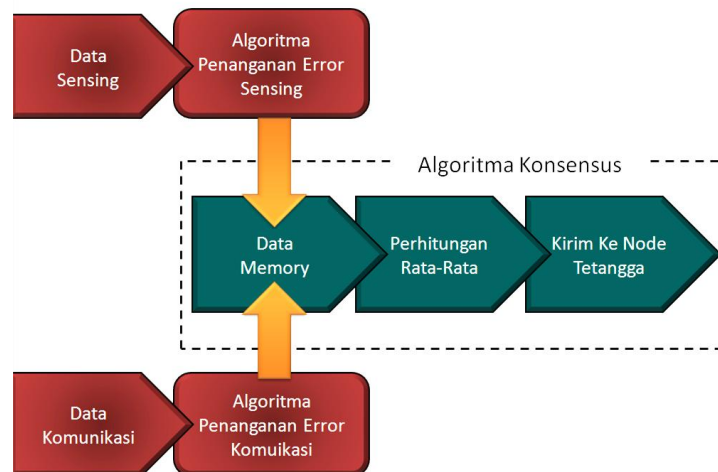
Pada tahap ini *node* mengirim data ke semua *node* tetangga. Proses pengiriman mengikuti penjadwalan pada MAC. Setelah dilakukan proses pengiriman data, kemudian dilakukan pengosongan memory untuk melakukan penyimpanan data informasi mulai dari awal



Gambar 3.12 Flow Chart Software System

### 3.9 Perancangan Algoritma Konsensus

Algoritma konsensus rata-rata terdistribusi digunakan untuk mengkonvergensi data pada masing-masing *node* sensor agar seragam. Dalam implementasi algoritma ke dalam desain WSN, dilakukan penyesuaian agar bisa diterima dan dijalankan oleh mikrokontroller yang memiliki kemampuan komputasi yang sangat terbatas. Selain itu, algoritma konsensus juga harus menyesuaikan terhadap kemungkinan terjadi error komunikasi maupun error sensing agar data yang dikirim ke Cluster Head / Sink *Node* merupakan data yang akurat. Untuk itu Algoritma konsensus yang dibangun pada penelitian ini adalah seperti ilustrasi pada Gambar 3.13 dimana pada gambar tersebut sebelum data sensing dimasukan kedalam slot data informasi, maka dilakukan analisa kemungkinan pengaruh error sensing. Hal ini juga berlaku untuk data komunikasi dengan tetangga. Ketika data informasi diperoleh, data tersebut tidak langsung dimasukan dalam slot data informasi melainkan dianalisa terlebih dulu terhadap kemungkinan error sensing yang dapat merubah nilai besaran informasi.

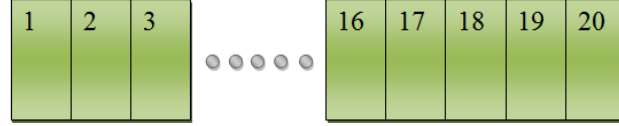


Gambar 3.13 Struktur Algoritma Konsensus

#### 3.9.1 Skenario Algoritma Konsensus

Mikrokontroller sebagai pemroses utama menggunakan type AT Mega 8535 dengan kecepatan memory hanya 512 Bytes dan kapasitas EEPROM sebesar 512 Bytes. Untuk itu algoritma disesuaikan dengan kemampuan mikrokontrol dan juga topologi. Adapun point-point penyesuaian adalah dari segi kemampuan

EEPROM, *short node memory* yang telah diusulkan pada penelitian sebelumnya [9], dibatasi hanya 20 slot Data informasi. Seperti ilustrasi pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Ilustrasi Dari Slot Data Informasi

Setelah 20 slot data informasi selesai dibangun, maka proses selanjutnya adalah pengisian slot. Slot data diisi oleh data hasil sensing dan data *node* tetangga. Setelah slot data penuh, maka dilakukan perhitungan rata-rata menggunakan aturan yang mengacu pada penelitian sebelumnya [9]. :

$$x = 1/N \sum_{i=1}^N xi \quad (3.5)$$

Karena pada thesis ini jumlah slot data dibatasi hanya sampai 20, maka aturan perhitungan rata-rata menjadi:

$$x = 1/20 \sum_{i=1}^{20} xn \quad (3.6)$$

Dimana  $N$  pada penelitian sebelumnya adalah jumlah *node*, tetapi pada usulan penelitian diubah menjadi konstanta 20 yang merupakan slot data informasi. Slot informasi diinisialisasi sebagai  $n \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_{20}\}$  Dan  $x$  pada tahap ini adalah data informasi hasil rata-rata. Kemudian dilakukan update global dengan menggunakan aturan sebagai berikut

$$x_i(t + 1) = W_{i,i}x_i(t) + \sum_{j \in N_i} W_{i,j}x_j(t) \quad (3.7)$$

Dimana  $i$  merupakan *node* yang saling terhubung secara single hop dan  $j$  merupakan *node* lain yang tidak terhubung langsung. Namun pada usulan penelitian tahap ini sedikit disesuaikan. Dengan asumsi topology mesh,  $i$  mewakili data informasi yang saat ini dimiliki hasil dari rata-rata step sebelumnya dan  $j$  adalah 3 buah data informasi dari *node* tetangga. Maka update global secara detil dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:



$$x_l(t + 1) = W_x x_l + \sum_{j=1}^3 W_j x_j(t) \quad (3.8)$$

Inisialisasi  $W$  adalah bobot. Penentuan bobot untuk data informasi hasil rata-rata dan bobot untuk data dari *node* tetangga merupakan parameter yang diteliti dalam upaya mencapai waktu konvergensi terpendek. Jika pada penelitian sebelumnya [9], untuk mencari nilai pembobotan yang ideal dalam upaya konvergensi adalah dengan melakukan 3 tahap mulai dari tahap memasukan data pada vektor kolom kemudian membentuk matriks dan mencari eigenvalue, maka pada thesis ini, proses pencarian pembobotan yang ideal diperingkas dengan alokasi prioritas pada slot data. Adapun alasan dari penyesuaian ini adalah sebagai berikut. Pertama, Perhitungan matriks dan eigen value membutuhkan banyak proses yang bersifat sekuensial sehingga jika perhitungan ini dijalankan pada arsitektur, maka algoritma lain akan terganggu. Kedua, pencarian pembobotan ideal tidak harus matematis. Ada cara lain yaitu jika pembobotan adalah suatu nilai variabel antara 0.1, 0.2 hingga 0.9, maka nilai ini bisa digantikan dengan prosentase antara, 10%, 20% hingga 90 %. Sehingga bila diimplementasikan pada slot data telah dibangun maka akan seperti pada Tabel 3.2.

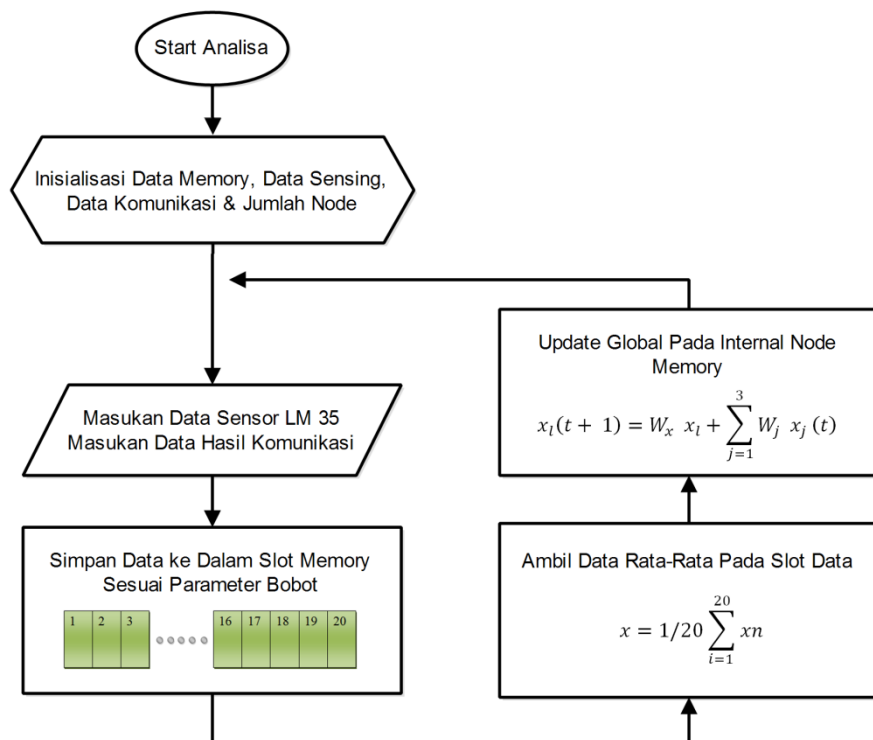
Tabel 3.2 Tabel Pembobotan Dan Alokasi Slot Data

Bobot (Weight)	Prosentase (%)	Alokasi Jumlah Slot Data	
		Data Tetangga	Data Sensing
0.1	10	2	18
0.2	20	4	16
0.3	30	6	14
0.4	40	8	12
0.5	50	10	10
0.6	60	12	8
0.7	70	14	6
0.8	80	16	4
0.9	90	18	2

Adapun penjelasan dari Tabel 3.2 adalah jika misal pembobotan diseting 0.1, maka dapat didefinisikan sebagai 10 %. Karena jumlah slot data berjumlah 20, maka alokasi slot data adalah 2 (10%) untuk data dari *node* tetangga dan 18

slot (90%) untuk data sensing. Pembobotan ideal akan menghasilkan konvergensi yang lebih cepat. Jika pembobotan terlalu kecil, maka slot data didominasi oleh data sensing pada masing-masing *node*. Kecepatan konvergensi dari segi siklus iterasi menjadi lambat, namun pengisian memory menjadi lebih cepat karena waktu yang dibutuhkan untuk sensing dan simpan berada pada orde milidetik. Sebaliknya Jika pembobotan terlalu besar, maka slot data didominasi oleh data *node* tetangga. Kecepatan konvergensi dari segi siklus iterasi menjadi lebih cepat, namun pengisian memory menjadi lambat karena pengisian data kedalam slot memory bergantung pada penjadwalan. Untuk itu pembobotan pada algoritma konsensus adalah parameter yang diteliti.

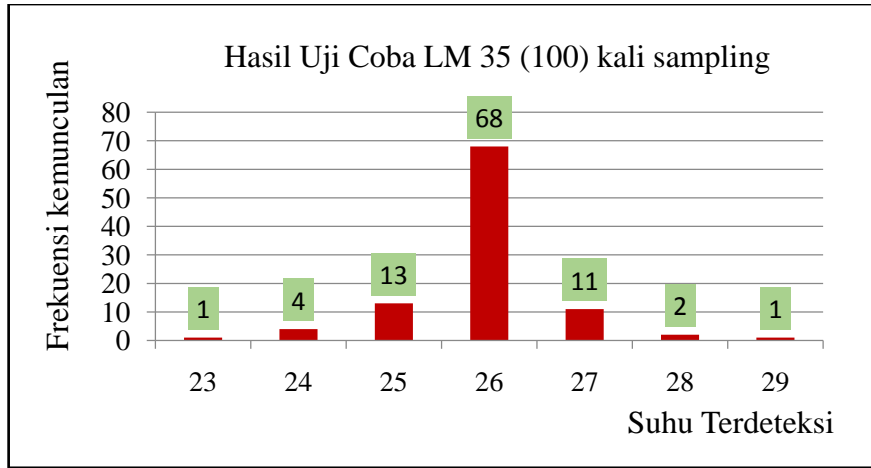
Secara keseluruhan, algoritma konsensus yang telah didesain dengan mempertimbangkan berbagai hal mulai dari skenario hingga kemampuan komputasi, maka alur kerja algoritma konsensus pada thesis ini adalah seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Skenario Algoritma Konsensus

### 3.9.2 Penanganan Error Sensing Pada Algoritma Konsensus

Error sensing pada sensor LM 35 DZ diakibatkan oleh kestabilan yang rendah dalam mendeteksi suhu. Pada thesis ini telah dilakukan pengujian pada suhu ruangan 26° Celcius dan dilakukan 100 kali sampling. Dari uji coba yang telah dilakukan, sebanyak 68 kali sensor mendeteksi 26° Celcius, 13 kali sensor mendeteksi 25° Celcius, 11 kali sensor mendeteksi 27° Celcius, 4 kali sensor mendeteksi 24° Celcius, 2 kali sensor mendeteksi 28° Celcius dan masing-masing 1 kali sensor mendeteksi 23° dan 29° Celcius Adapun hasil uji coba seperti yang terlihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Hasil Uji Coba Kestabilan LM 35 DZ Pada 100 kali sampling

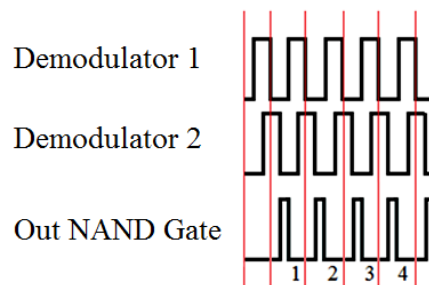
Ketidakstabilan nilai ini tentu saja mengganggu kinerja dari kerja sama antar sensor dalam menentukan informasi yang akurat. Untuk menangani permasalahan tersebut, maka dilakukan penyesuaian pada algoritma konsensus. *Short node memory* pada algoritma konsensus merupakan ingatan sementara yang menyimpan historis data sensor selama waktu tertentu. Idealnya data sensor ini tidak terpengaruh oleh kestabilan sensor. Sehingga pada thesis ini, sebelum data sensor dimasukkan kedalam slot memory, maka dilakukan langkah analisa awal yang secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$Ad = \max \begin{cases} d_1(t) = d_1(t) + 1, \text{ Untuk data sensor} = 1^\circ \text{ Celcius} \\ d_2(t) = d_2(t) + 1, \text{ Untuk data sensor} = 2^\circ \text{ Celcius} \\ \vdots \\ d_n(t) = d_n(t) + 1, \text{ Untuk data sensor} = n^\circ \text{ Celcius} \end{cases} \quad (3.9)$$

Dimana  $Ad$  adalah data akurat dari sensor yang dicari dengan cara mencari nilai maksimum dari  $[d_1, d_2, d_3, \dots, d_{100}]$ . Setelah proses selesai selama waktu ( $t$ ) dan nilai  $Ad$  sudah diketahui, maka nilai dari  $[d_1, d_2, d_3, \dots, d_{100}]$  di reset menjadi 0.

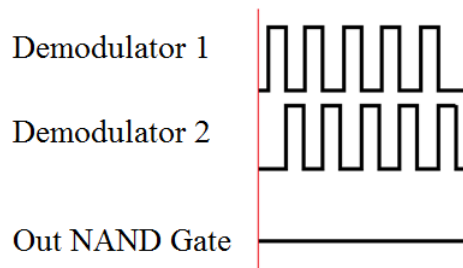
### 3.9.3 Penanganan Error Komunikasi Pada Algoritma Konsensus

Permasalahan komunikasi umumnya terjadi pada sisi penerima, Adapun faktor pengganggu pada desain sistem komunikasi adalah pantulan cahaya. Cahaya yang memantul melalui obyek hingga sampai ke penerima akan menimbulkan keterlambatan bit yang diterima. Keterlambatan bit dapat menyebabkan kedatangan bit informasi menjadi bervariasi terutama jika sumber pantulan lebih dari satu. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya perubahan  $T_b$  (Time bit) pada *node receiver*. Gambar 3.17 menunjukkan contoh efek dari keterlambatan bit dan analisa pada gerbang *NAND* dimana berlaku fungsi  $\text{Out NAND} = \text{Invert}(\text{Input1} \times \text{Input2} \times \text{Input3} \dots \times \text{Input n})$ . Namun hal ini masih dapat ditangani oleh desain protokol dan modulasi ASK.



Gambar 3.17 Perubahan  $T_b$  Akibat Keterlambatan Bit Informasi

Efek pantulan cahaya yang paling parah dapat menyebabkan output dari gerbang *NAND* hanya mengeluarkan logika 0 secara kontinyu. Pada kondisi ini, *node WSN* dinyatakan gagal mendapatkan informasi.



Gambar 3.18 Kegagalan Komunikasi Akibat Keterlambatan Bit Informasi

Faktor pengganggu lainnya adalah halangan yang merupakan gangguan terbesar dari komunikasi *FSO*. Halangan dapat disebabkan oleh pergerakan manusia maupun benda yang dapat menyebabkan hilangnya sebagian maupun keseluruhan bit informasi. Pada penelitian ini, protokol komunikasi melibatkan proses perhitungan *Falling Edge* pada bit informasi yang diterima. Hilangnya sebagian atau seluruh bit informasi membuat perhitungan menjadi tidak akurat. Sehingga pada kondisi ini, *node* WSN dinyatakan mengalami kegagalan komunikasi.

Kegagalan komunikasi akibat pantulan cahaya maupun halangan membuat data informasi menjadi tidak akurat. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dilakukan penyesuaian pada algoritma konsensus. Adapun penyesuaian terletak pada *short node memory* atau pada tesis ini dalam perancangan disebut sebagai slot data. Dalam hal ini dilakukan proses analisa tambahan dengan cara mengambil nilai rata-rata data informasi pada slot data dan membandingkan dengan data baru yang diterima. Proses ini dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$\text{Cek Data} = \max \begin{cases} Vd(t) = Vd(t) + 1, \text{ jika } \text{abs}(Am - Nd) < 5 \\ Id(t) = Id(t) + 1, \text{ jika } \text{abs}(Am - Nd) > 5 \end{cases} \quad (3.10)$$

Dimana pada analisa ini data *valid* diinisialisasi sebagai *Vd*, data *Invalid* yang error akibat gangguan diinisialisasikan sebagai *Id*, kemudian *Average Memory* atau nilai rata-rata data pada slot data disimbolkan sebagai *Am*, data yang baru diterima dan belum diketahui validitasnya disimbolkan sebagai *Nd*, dan konstanta 5 merupakan nilai setting point untuk menentukan selisih. Ketika data baru *Nd* diterima oleh *node*, maka dilakukan analisa terlebih dahulu. sesuai langkah-langkah berikut:

- Awal mula dilakukan pencarian nilai Absolut dari  $Am - Nd$ .  
Sehingga  $Am - Nd \geq 0$ .
- Jika hasilnya  $<5$ , maka  $Vd(t) = Vd(t) + 1$ . Sehingga Nilai dari variabel *Vd* akan bertambah. Namun jika hasilnya  $>5$ , maka  $Id(t) = Id(t) + 1$ . Sehingga Nilai dari variabel *Id* yang akan bertambah.

- Ketika waktu analisa ( $t$ ) selesai. Dicari nilai maksimum dari  $V_d$  dan  $I_d$ . Jika  $V_d \Rightarrow I_d$ , maka data yang telah diterima adalah valid yang kemudian akan dimasukan kedalam slot data. Sebaliknya jika  $V_d < I_d$ , maka data yang diterima dinyatakan tidak valid dan tidak boleh dimasukan kedalam slot data.

### 3.10 Perancangan Algoritma MAC

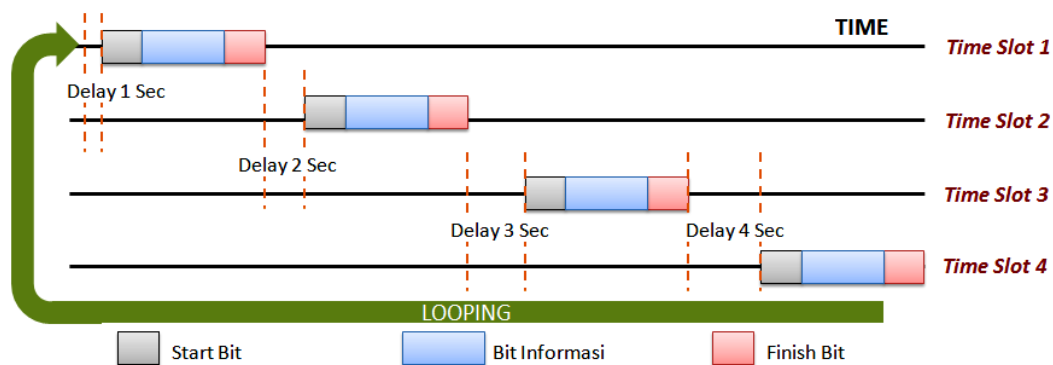
Komunikasi yang melibatkan banyak user atau *node* tentunya membutuhkan penjadwalan untuk menghindari tabrakan pada data yang dikirimkan. Pada thesis ini digunakan penjadwalan TDMA (Time Division Multiple Access) dimana masing-masing *node* memiliki slot waktu yang berbeda untuk melakukan transmit dan receive data. Alasan menggunakan TDMA karena multiple access ini adalah yang paling sederhana dan mudah untuk diaplikasikan pada mikrokontroller yang memiliki kemampuan terbatas. Dengan kata lain, algoritma TDMA besar kemungkinan tidak membebani komputasi. Adapun alasan lain adalah, komponen utama sistem komunikasi pada masing masing *node* WSN khususnya TSOP 34838 hanya dapat mendeteksi cahaya dengan frekuensi On-Off sebesar 38 KHz dan dengan panjang gelombang cahaya  $\pm 800 - 1100$  nm (Infrared) sehingga sangat tidak memungkinkan untuk menggunakan FDMA (Frequency Division Multiple Access) maupun WDMA (Wavelength Division Multiple Access).

Pada thesis ini, penjadwalan yang digunakan bukan TDMA murni tetapi gabungan antara TDMA dan CSMA. Adapun motivasi penggunaan penjadwalan CSMA adalah ketika salah satu *node* mati, maka *node* lain tidak harus menunggu slot yang sudah terjadwal tetapi dapat langsung menggunakan slot yang telah ditinggalkan. Tujuan lain adalah, TDMA secara lazim melibatkan *node* koordinator yang mengatur pejadwalan. Dengan kata lain, *node* Cluster Head akan memberi perintah kepada *node* lain untuk melakukan transmisi data berdasarkan jadwal. Namun skenario pada thesis ini, tidak ada satupun *node* termasuk Cluster Head yang bertugas sebagai koordinator penjadwalan. Untuk itu, agar penjadwalan berjalan dengan baik, maka dibutuhkan aktivitas sensing sebelum melakukan

transmisi. Aktivitas sensing oleh *node* dapat dilakukan jika menggunakan penjadwalan CSMA.

### 3.10.1 Skenario TDMA

Pada thesis ini digunakan 4 *Node* dimana 3 *Node* berfungsi sebagai Cluster Head dan 1 *Node* berfungsi sebagai Cluster Member. Untuk itu digunakan 4 buah slot waktu untuk masing-masing *node* dimana proses pergantian slot dilakukan secara otomatis dan berurutan tanpa ada sinyal komando dari Cluster Head. Gambar 3.19 menunjukkan ilustrasi dari skema penjadwalan untuk 4 *node* dan 4 time slot.



Gambar 3.19 Skema Penjadwalan 4 *Node* Pada 4 Time Slot

Urutan penjadwalan dimulai dengan time slot 1 dimana *node* 1 mengirim data yang terdiri dari Start, informasi dan finish bit secara broadcast ke semua *node* yang ada. Kemudian setelah tahap ini selesai, maka penjadwalan masuk ke time slot 2 dimana *node* 2 menunggu waktu selama 2 detik dan kemudian melakukan broadcast data informasi ke semua *node*. Begitu pula seterusnya hingga time slot ke 4 selesai, akan kembali ke time slot 1. Setelah selesai melakukan transmit data, masing-masing *node* akan masuk ke dalam mode tunggu selama 10 detik.

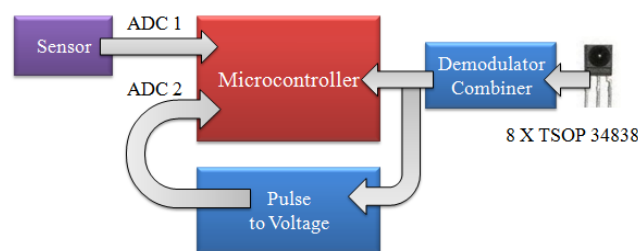
### 3.10.2 Skenario CSMA

Delay atau waktu tunggu untuk memulai mengirim data pada masing-masing *node* dibuat berbeda. Hal ini dilakukan untuk menghindari tabrakan antar data sensor. Variasi waktu kedatangan sinyal informasi dari satu *node* ke *node* lain tidak hanya menggeser bit informasi, namun sisa-sisa pantulan sinyal

informasi berpotensi mengganggu proses transmisi pada time slot berikutnya. Dengan kata lain, hal ini dapat mengakibatkan tabrakan sinyal informasi yang telah dikirim oleh suatu *node* dengan sinyal informasi yang baru dikirim oleh *node* berikutnya. Untuk menghindari hal tersebut, maka perlu diberi jeda / start delay antar time slot. Sedangkan alasan perbedaan waktu start delay pada desain penjadwalan adalah untuk mendukung terjadinya perubahan slot.

Perubahan slot terjadi ketika satu atau lebih *node* mengalami kehabisan energi (mati), penjadwalan dirancang agar *node* yang lain bisa menggunakan time slot yang ditinggalkan oleh *node* yang mati tersebut. *Node-node* yang belum mengirim informasi dirancang agar segera mengambil time slot yang ada. Sebelum melakukan transmisi, tiap *node* melakukan sensing untuk melakukan check apakah ada *node* yang sedang menggunakan slot. Pada proses ini, algoritma penjadwalan CSMA bekerja. Kemudian karena masing masing *node* memiliki start delay yang berbeda, maka *node* dengan start delay terpendeklah yang akan mengambil alih time slot. Dengan cara ini, jika ada *node* yang mati, maka jumlah time slot yang semula berjumlah 4 akan berubah menjadi 3, 2 dan seterusnya secara otomatis dan berurutan. Misalkan *node* 1 sudah mengirim informasi kemudian *node* 2 mati, maka *node* 3 secara otomatis akan mengambil alih time slot karena memiliki start delay yang lebih pendek dari *node* 4.

Aspek penting lain pada protokol CSMA adalah *carrier sensing*. Jika pada umumnya proses *carrier sensing* dilakukan pada proses demodulasi, namun karena alasan arsitektur, maka pada thesis ini proses *carrier sensing* dilakukan setelah proses demodulasi. Adapun detail dari proses carrier sensing adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.20.



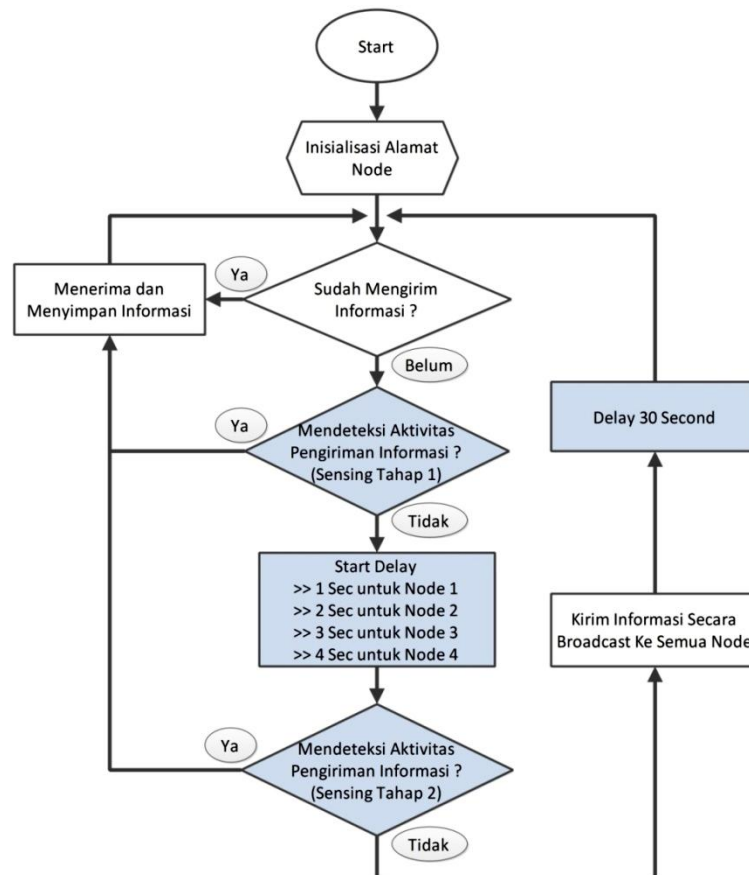
Gambar 3.20 Proses Carrier Sensing Pada Perancangan



Hasil dari proses demodulasi menghasilkan deret bit yang kemudian diumpungkan ke rangkaian *pulse to voltage*. Sehingga deret bit yang berisi informasi berubah menjadi tegangan DC konstan dengan rentang nilai mulai dari 0 hingga 4.5 Volt. Tegangan DC konstan ini kemudian dikonversi melalui ADC dan dianalisa datanya. Proses carrier sensing akan mendeteksi adanya aktivitas pengiriman jika nilai ADC > 0 (mulai dari 0 hingga 255).

### 3.10.3 TDMA dan CSMA Hybrid

Penjadwalan pada masing-masing *node* dilakukan dengan cara memasukan algoritma yang berbeda pada tiap *node*. Pada saat *node* tidak ada yang mati atau masih berjumlah 4, maka tiap *node* akan menggunakan time slot sesuai penjadwalan awal. Kemudian ketika satu atau lebih *node* mengalami kehabisan energi (mati), maka *node* akan menyesuaikan time slot. Untuk itu alur program pada penjadwalan dirancang sedemikian rupa seperti pada Gambar 3.21.

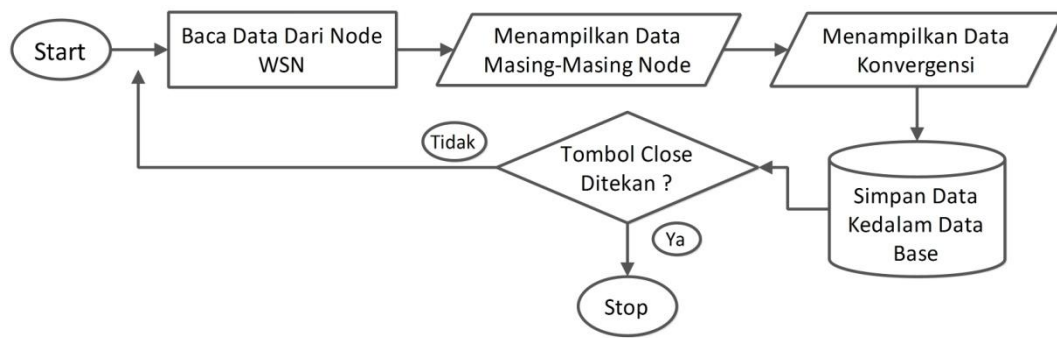


Gambar 3.21 Alur Program Pada Penjadwalan

Alur program pada penjadwalan diawali dengan menginisialisasi alamat *node* pada masing masing *node* WSN. Kemudian dilakukan konfirmasi apakah *node* WSN sudah melakukan pengiriman data informasi sesuai penjadwalan normal. Jika iya, maka *node* akan menunggu, menerima dan menyimpan informasi dari tetangga. Namun jika tidak, *node* akan menjalankan proses mengirim dengan melewati 2 kali tahap sensing dimana pada proses ini *node* berusaha untuk mengetahui kondisi jaringan sebelum mengirimkan data informasi ke *node* lainya. Hal ini dilakukan untuk memastikan tidak ada satu pun *node* yang sedang melakukan proses pengiriman. Pada flowchart, Shape yang berwarna biru berperan penting dalam proses perubahan slot secara otomatis. Shape ini merupakan algoritma CSMA yang dimasukan kedalam kerangka algoritma TDMA. Dengan demikian, *node* akan berpindah slot secara otomatis ketika ada salah satu *node* yang mati. *Node* yang mati ditandai dengan tidak adanya sinyal informasi yang terdeteksi sementara time slot sedang berjalan. Sedangkan delay 30 detik adalah waktu istirahat bagi *node* untuk melakukan aktivitas. 30 detik adalah pertimbangan dari jumlah delay *node* keseluruhan (1 detik + 2 detik + 3 detik + 4 detik) ditambah dengan waktu yang dibutuhkan tiap *node* untuk melakukan pengiriman informasi dimana rata-rata adalah (5 detik x 4 *Node*).

### **3.11 Perancangan Sub Sistem Interfacing**

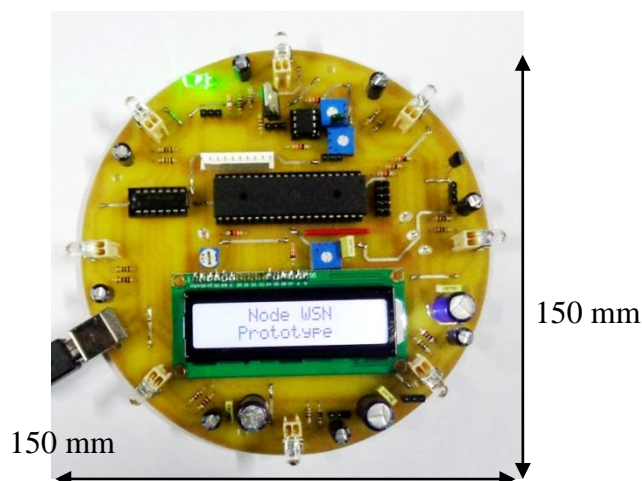
Pada thesis ini, perancangan sub sistem interfacing dilakukan dengan mempersiapkan koneksi antara *node* WSN dengan PC atau Laptop. Pada sisi *node* digunakan komunikasi serial RS 232 sedangkan pada sisi PC/ Laptop digunakan software interface yang berfungsi sebagai monitoring data WSN. Software interface dijalankan pada Laptop atau PC Desktop dan terhubung dengan *node* WSN yang bertugas sebagai Cluster Head. Karena fungsinya hanya sebagai monitor untuk memudahkan analisa, maka tidak ada komputasi atau algoritma khusus pada software ini. Gambar 3.22 menunjukan flowchart dari software interface. Listing program dari software ini ditulis menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.



Gambar 3.22 Flowchart Pada Software Interface

### 3.12 Node Prototype

Setelah dilakukan perancangan arsitektur mulai dari sub sistem sensing, komunikasi, interfacing, pengolahan dan kemudian telah dilakukan perancangan algoritma mulai dari sistem operasi dasar, algoritma konsensus dan Perancangan algoritma pada MAC, maka dilakukan perakitan hardware dan pemrograman yang menghasilkan prototype *node* WSN. Dari segi rancang bangun, dimensi dari *node* WSN dibuat lebih besar dari standard untuk mempermudah pengukuran dan analisa. *Node* dirancang berbentuk bulat untuk memudahkan pemasangan LED Infrared TSAL 7600 agar lensa optik dapat diposisikan menghadap 8 arah mata angin. Adapun detail dari bentuk fisik dari prototype *node* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 *Node* Prototype

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Setelah dilakukan perancangan *node* WSN mulai dari segi hardware, software, komunikasi, penjadwalan hingga algoritma Konsensus, maka selanjutnya pada thesis ini akan dilakukan uji coba dan analisa yang meliputi dua aspek. Aspek pertama adalah uji coba dari perancangan *node* WSN secara keseluruhan. Kemudian aspek yang kedua adalah dari segi algoritma konsensus rata-rata.

#### **4.1 Uji Coba dari Aspek Perancangan *Node*.**

Uji coba dari aspek perancangan *node* merupakan uji coba yang dilakukan berkaitan dengan performansi dari *node* WSN yang telah dirancang. Pada thesis ini telah dilakukan perancangan *node* WSN secara keseluruhan khususnya pada desain hardware, software, komunikasi dan penjadwalan. Sebagai tahap akhir dari perancangan, maka dilakukan uji coba pada beberapa hal antara lain sebagai berikut :

- Awal mula uji coba dilakukan untuk menguji jarak jangkauan *node* pada lingkungan indoor (Sub Bab 4.1.1) dan pada lingkungan outdoor (Sub Bab 4.1.2).
- Uji coba dilanjutkan dengan pengamatan pada oscilloscope untuk mengetahui bentuk sinyal pada *node receiver* terhadap variasi jarak. (Sub Bab 4.1.3).
- Hasil uji coba pada Sub Bab 4.1.1, 4.1.2 dan 4.1.3 dilakukan validasi dengan analisa Link Budget (Sub Bab 4.1.4).
- Pengamatan menggunakan oscilloscope tidak hanya menghasilkan bentuk sinyal terhadap variasi jarak, tetapi juga bentuk sinyal terhadap pantulan (Sub Bab 4.1.5).
- Selanjutnya dilakukan pengukuran Time bit ( $T_b$ ) ideal untuk mendapatkan kondisi optimal dari sistem komunikasi optik (Sub Bab 4.1.6).

- Setelah  $T_b$  ideal diketahui, maka bit rate maksimum dari sistem komunikasi dapat ditentukan (Sub Bab 4.1.7).
- Kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh node *transmitter* dalam mengirim data hingga sampai pada penerima (Sub Bab 4.1.8).
- Dari segi MAC layer, uji coba dilakukan untuk mengetahui kinerja dan keteraturan penjadwalan pada node. Uji coba dilakukan pada penjadwalan TDMA dan CSMA (Sub Bab 4.1.9 dan 4.1.10).

#### 4.1.1 Pengukuran Jarak Jangkauan *Node* Pada Lingkungan *Indoor*

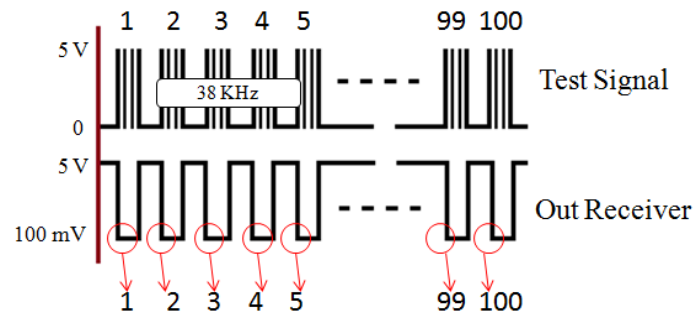
Motivasi dari pengukuran ini adalah untuk menguji jarak jangkauan terjauh dari sistem komunikasi pada *node* WSN khususnya pada lingkungan *indoor* baik dalam kondisi gelap maupun dalam pencahayaan lampu *fluorescent*. Gambar 4.1 menunjukkan aktivitas pengukuran pada lingkungan *indoor*.



Gambar 4.1 Aktivitas Pengukuran Pada Lingkungan *Indoor*

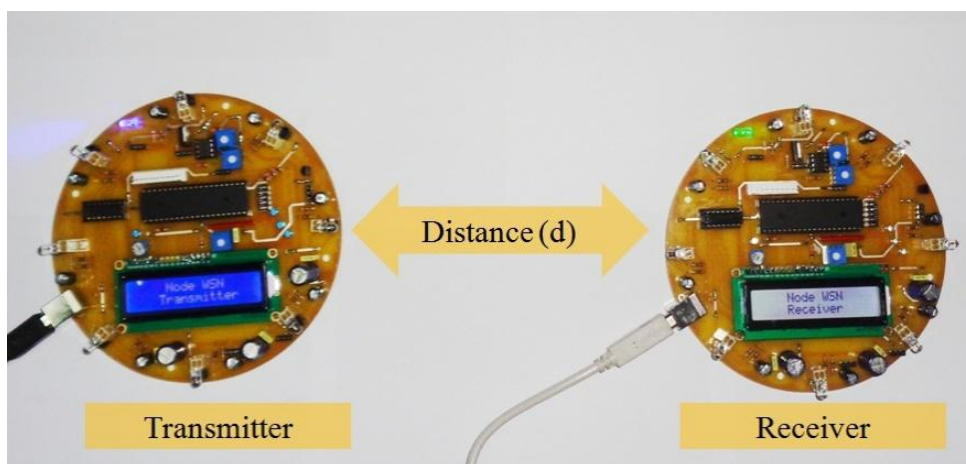
Pengukuran dilakukan dengan mengirim sinyal test dari *node* 1 ke *node* 2. Sinyal test merupakan gelombang persegi yang dikirim menggunakan modulasi Binnary ASK pada frekuensi 38 KHz. Adapun data yang dikirim dari *node* 1 ke 2 adalah data suhu sebesar 100° Celcius. Data ini bukan hasil dari penginderaan sensor tetapi setting point yang bertujuan hanya untuk melakukan uji coba komunikasi. Dalam hal ini, *node* akan mengirim sinyal pulsa pada frekuensi 38

KHz sebanyak 100 kali dengan jeda antar pulsa sebesar  $800 \mu\text{s}$ . Pada *node* penerima, Test sinyal yang diterima menghasilkan pulsa invertirng. Kemudian dilakukan perhitungan jumlah kemunculan *Falling Edge* sinyal. Adapun detail sinyal yang dikirim seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Test Sinyal 100 Kali Pulsa Pada Frekuensi 38 KHz

Pada proses pengukuran, *node* 1 di fungsikan sebagai *transmitter* dan *node* 2 difungsikan hanya sebagai *receiver*. *Node transmitter* ditempatkan pada posisi tetap dan *node receiver* ditempatkan pada jarak tertentu kemudian ditempatkan semakin menjauh dari *transmitter*. Adapun metode pengukuran seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Awal mula jarak pengukuran antara *node* 1 dan *node* 2 hanya 1 meter kemudian semakin menjauh hingga 30 meter.



Gambar 4.3 Metode Pengukuran Jarak Jangkau *Node*

Setelah dilakukan uji coba dengan 10 kali trial pada masing-masing variasi jarak, maka didapat hasil seperti pada Tabel 4.1.

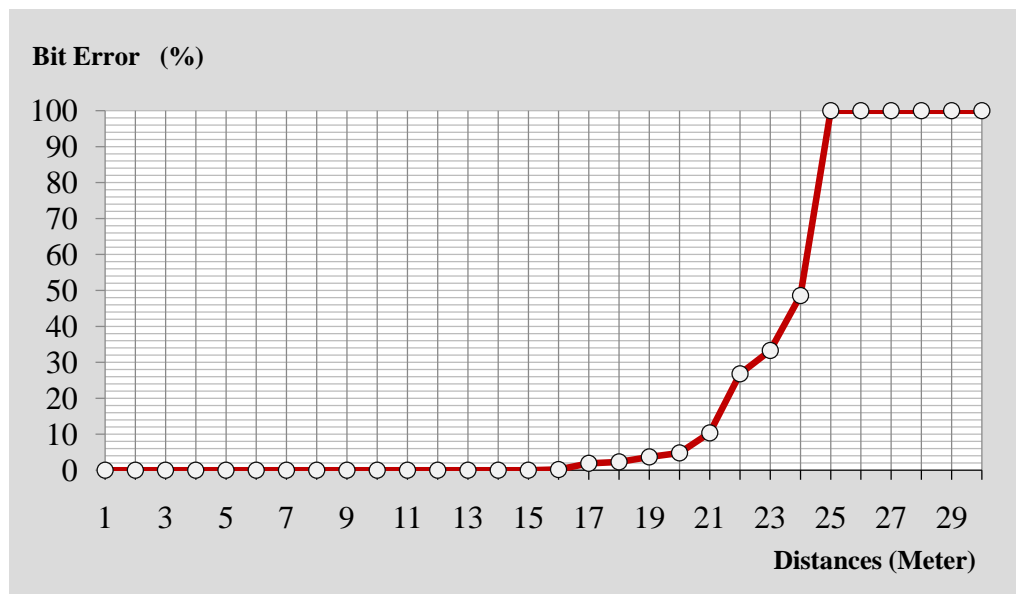
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Pada Lingkungan *Indoor*

Jarak (meter)	TRIAL										Rata 2	Prosentase Bit Error (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
16	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	99.8	0.2
17	100	100	98	100	95	89	99	100	100	100	98.1	1.9
18	98	97	100	100	98	100	100	100	98	86	97.7	2.3
19	100	96	97	99	98	99	86	94	99	95	96.3	3.7
20	100	93	100	98	94	90	92	93	98	94	95.2	4.8
21	92	97	92	90	84	89	92	88	85	87	89.6	10.4
22	78	70	75	69	66	80	79	76	67	72	73.2	26.8
23	58	60	72	77	81	63	63	62	59	72	66.7	33.3
24	59	50	55	52	48	46	66	42	55	41	51.4	48.6
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Pada Tabel 4.1, angka [100,99,98,...,0] adalah jumlah *Falling Edge* yang terdeteksi pada *node receiver*. Dalam hal ini, Jumlah *Falling Edge* sama dengan jumlah bit yang diterima dan jeda antar pulsa disebut sebagai *Time Bit (T<sub>b</sub>)*. Bila jumlah *Falling Edge* kurang dari jumlah pulsa yang dikirim, maka ini disebut



sebagai bit error yang kemudian dihitung prosentasenya. Adapun kesimpulan dari proses uji coba ini adalah jarak jangkauan ideal antar *node* adalah 15 meter dimana prosentase bit error mencapai 0 %. Namun bila melihat dari kemampuan maksimum, maka jarak jangkauan terjauh adalah 24 meter dengan prosentase bit error dari 0.2 hingga 48.6 %. Bila hasil pada Tabel 4.1 divisualisasikan kedalam grafik, maka hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Prosentase Bit Error Dalam Bentuk Grafik (*Indoor*).

#### 4.1.2 Pengukuran Jarak Jangkauan *Node* Pada Lingkungan *Outdoor*

Motivasi dari pengukuran ini adalah untuk menguji jarak jangkauan terjauh dari sistem komunikasi pada *node* WSN khususnya pada lingkungan *outdoor*. Pada lingkungan *indoor*, gangguan utama adalah lampu pencahayaan ruangan yang umumnya berasal dari spektrum cahaya tampak, UV dan spektrum cahaya infrared yang sudah dapat diperkirakan. Umumnya bersifat stabil dan tergantung dari jenis lampu. Sedangkan pada lingkungan *outdoor*, matahari selain memancarkan UV, juga memancarkan cahaya infra merah yang sulit untuk diprediksi dan berpotensi mengganggu sistem komunikasi FSO Infrared. Untuk itu pada sistem komunikasi perlu untuk dilakukan pengukuran khususnya pada lingkungan *outdoor*. Metode pengukuran yang digunakan adalah sama dengan metode pada pengukuran *indoor*. Gambar 4.5 menunjukkan aktivitas pengukuran pada lingkungan *Outdoor*.



Gambar 4.5 Aktivitas Pengukuran Pada Lingkungan *Outdoor*

Setelah dilakukan uji coba dengan 10 kali trial pada masing-masing variasi jarak, maka didapat hasil seperti pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.1.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Pada Lingkungan *Outdoor*

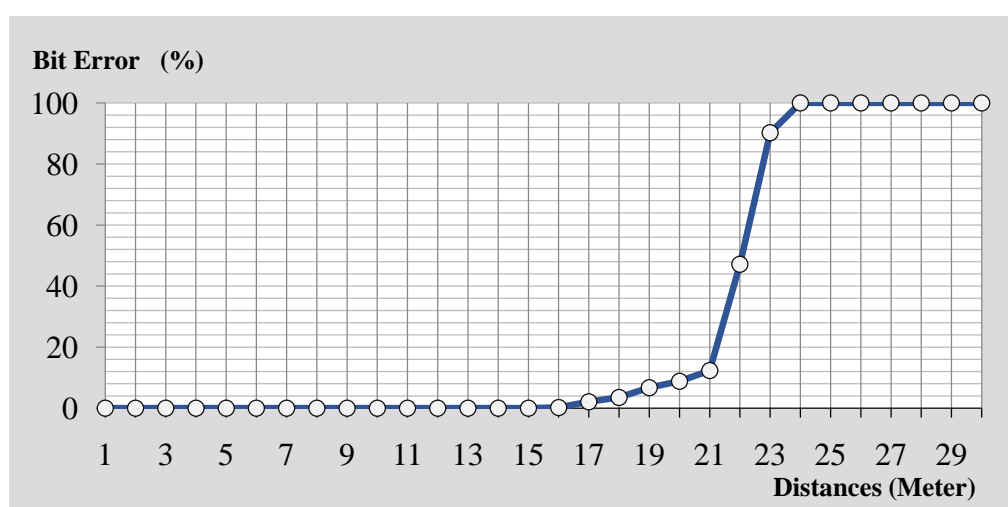
Jarak (meter)	TRIAL										Rata 2	Prosentase Bit Error (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
14	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
16	100	99	100	99	100	100	100	100	100	100	99.8	0.2
17	100	100	97	100	95	92	100	95	100	100	97.9	2.1
18	100	97	98	100	98	100	88	100	98	86	96.5	3.5
19	95	96	93	92	98	88	85	94	98	94	93.3	6.7
20	97	90	86	92	84	90	92	95	93	93	91.2	8.8
21	91	95	90	92	82	86	86	81	83	91	87.7	12.3

Tabel 4.3 Tabel Lanjutan Hasil Pengukuran Pada Lingkungan *Outdoor*

Jarak (meter)	TRIAL										Rata 2	Prosentase Bit Error (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
22	39	62	59	50	46	48	56	48	59	62	52.9	47.1
23	8	0	11	16	15	18	0	17	0	13	9.8	90.2
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Kesimpulan dari proses uji coba ini adalah pada lingkungan *outdoor*, jarak jangkauan ideal antar *node* adalah 15 meter dimana prosentase bit error mencapai 0 %. Jarak dan hasil ini tidak ada perbedaan dengan pengukuran pada lingkungan *indoor*. Kemudian bila melihat dari kemampuan maksimum, maka jarak jangkauan terjauh adalah 23 meter dengan prosentase bit error dari 0.2 hingga 90.2 %. Setelah dilakukan uji coba dengan 10 kali trial pada masing-masing variasi jarak, maka didapat hasil seperti pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.1.

Tabel 4.2 dan Tabel 4.2. divisualisasikan kedalam grafik, maka hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Prosentase Bit Error Dalam Bentuk Grafik (*Outdoor*)

Setelah dilakukan pengukuran jarak jangkauan pada lingkungan *indoor* dan *outdoor*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa jarak ideal antar *node* WSN maksimum pada kisaran 15 meter. Kemudian hasil lain adalah tidak ada perbedaan signifikan antara pengukuran pada lingkungan *indoor* dengan *outdoor*. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja TSOP 34838 sebagai komponen utama pada penerima memiliki kinerja yang cukup stabil.

#### 4.1.3 Pengukuran Jarak Jangkauan Menggunakan Oscilloscope


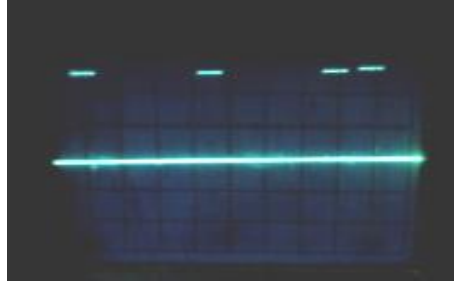

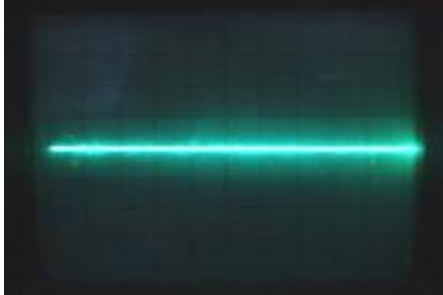
Untuk melengkapi proses pengukuran jarak jangkauan, pada thesis ini dilakukan pengamatan menggunakan oscilloscope pada *node* WSN. Metode pengukuran sama dengan pengukuran sebelumnya seperti pada Gambar 4.3. Namun perbedaannya adalah pada pengukuran ini, kabel probe dari oscilloscope dihubungkan dengan *node receiver*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Metode Pengukuran Menggunakan Oscilloscope

Motivasi dari pengukuran ini adalah untuk melihat bentuk pulsa yang hilang sebagian atau seluruhnya akibat kemampuan daya pancar dan berbagai gangguan yang terjadi. Dari hasil pengamatan menggunakan oscilloscope, pada jarak 16 hingga 23 meter terdapat beberapa bit informasi yang tidak terdeteksi atau bit informasi hilang sebagian. Sedangkan pada jarak  $> 24$  meter, bit informasi yang dikirim tidak dapat terdeteksi sama sekali sehingga dapat dikatakan *node* WSN tidak dapat berkomunikasi.

Tabel 4.4 Tabel Pengukuran Menggunakan Oscilloscope

No	Jarak Antara <i>Node</i> 1 & 2	Prosentase Bit Error (%)	Pengamatan Pada Oscilloscope
1	1 Meter sd 15 Meter	0 %	
2	16 Meter sd 21 Meter	0.2 sd 12.3 %	
3	22 Meter sd 23 Meter	26.71 – 90.16 %	
4	Jarak Jangkau > 24	100 %	

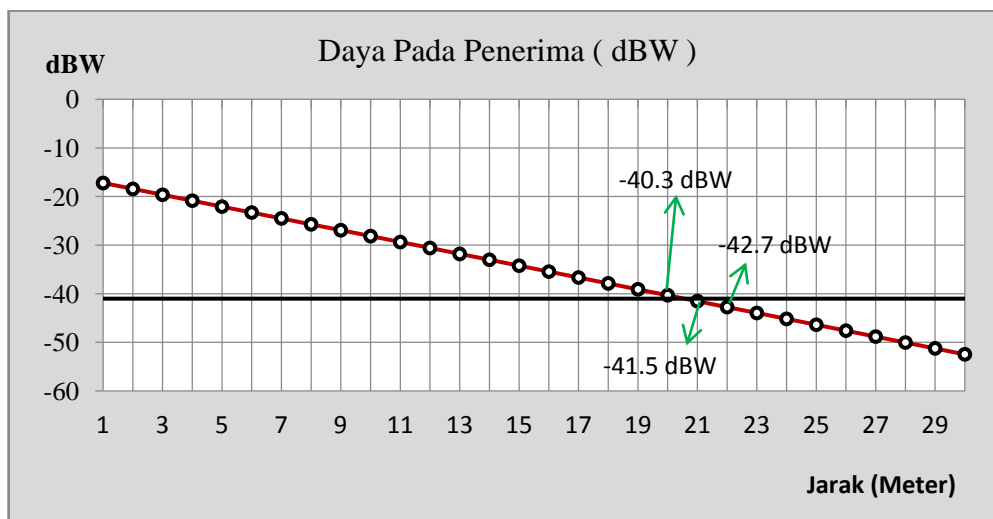
#### 4.1.4 Validasi Pengukuran Jarak Menggunakan Link Budget

Analisa Link Budget digunakan untuk merancang kebutuhan daya pancar dan jarak pancar secara teoritis. Analisa ini juga dilakukan untuk memvalidasi dan mencocokkan hasil pengukuran pada point sub bab 4.1.1, 4.1.2 dan 4.1.3. Dengan menggunakan persamaan (3.4) pada Sub Bab 3.6.1, maka didapat hasil analisa Link Budget seperti yang terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel Hasil Perhitungan Link Budget

Jarak (m)	Daya pada Penerima (dBW)
1	-17.216012
2	-18.432024
3	-19.648036
4	-20.864048
5	-22.08006
6	-23.296072
7	-24.512084
8	-25.728096
9	-26.944108
10	-28.16012
11	-29.376132
12	-30.592144
13	-31.808156
14	-33.024168
15	-34.24018
16	-35.456192
17	-36.672204
18	-37.888216
19	-39.104228
20	-40.32024
21	-41.536252
22	-42.752264
23	-43.968276
24	-45.184288
25	-46.4003
26	-47.616312
27	-48.832324
28	-50.048336
29	-51.264348
30	-52.48036

Bila hasil pada Tabel 4.5 divisualisasikan kedalam grafik, maka hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Link Budget Daya Pada Penerima

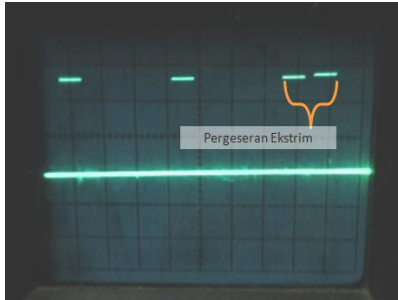
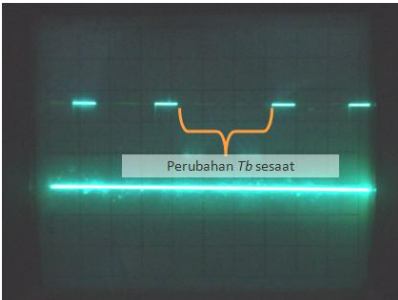
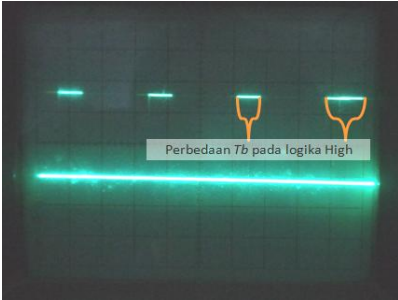
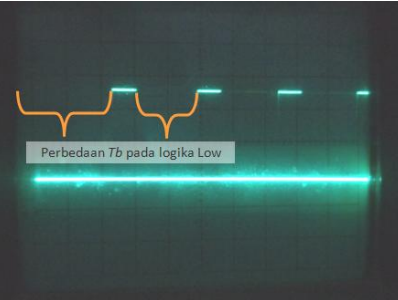
Dari analisa dan perhitungan link budget, maka dapat disimpulkan bahwa jarak maksimum pemancar dengan penerima secara teoritis sesuai perencanaan adalah 20 Meter. Dalam hal ini pada jarak  $\geq 21$  meter, daya yang diterima oleh *node receiver* mencapai -41.5 dBW sedangkan daya minimum yang bisa diterima oleh *node receiver* berdasarkan spesifikasi teknis adalah -41 dBW. Jika jarak pancar ideal antar *node* sesuai uji coba secara langsung adalah 15 meter (point pembahasan 4.1.1, 4.1.2 dan 4.1.3), dan jarak pancar maksimum secara teoritis sesuai pembahasan ini adalah 20 meter, maka dapat disimpulkan kinerja TSOP 34838 pada kenyataannya adalah 75% dari spesifikasi teknis pada datasheet komponen.

#### 4.1.5 Pengaruh Variasi Kedatangan Sinyal Terhadap Bit Informasi

Motivasi dari observasi ini adalah untuk melihat pengaruh variasi kedatangan sinyal informasi pada *node* WSN akibat terjadinya pantulan. Dari desain komunikasi, informasi dipancarkan ke segala arah menggunakan cahaya infrared. Tidak menutup kemungkinan cahaya mengalami pantulan secara acak sehingga informasi yang datang pada *node* menjadi bervariasi. Variasi ini mengakibatkan pergeseran bit informasi dan variasi durasi bit atau time bit ( $T_b$ ). Observasi dilakukan dengan cara melakukan pengamatan menggunakan

oscilloscope pada *node* WSN. Dua buah *node* WSN dimana satu *node* difungsikan sebagai *transmitter* dan *node* lainnya digunakan sebagai *receiver*. Kemudian kabel probe oscilloscope dihubungkan pada *node receiver*. Sedangkan *node transmitter* diubah ubah posisinya hingga memungkinkan terjadi pantulan. Adapun beberapa macam fenomena akibat variasi kedatangan sinyal informasi adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Tabel Fenomena Dan Observasi Menggunakan Oscilloscope.

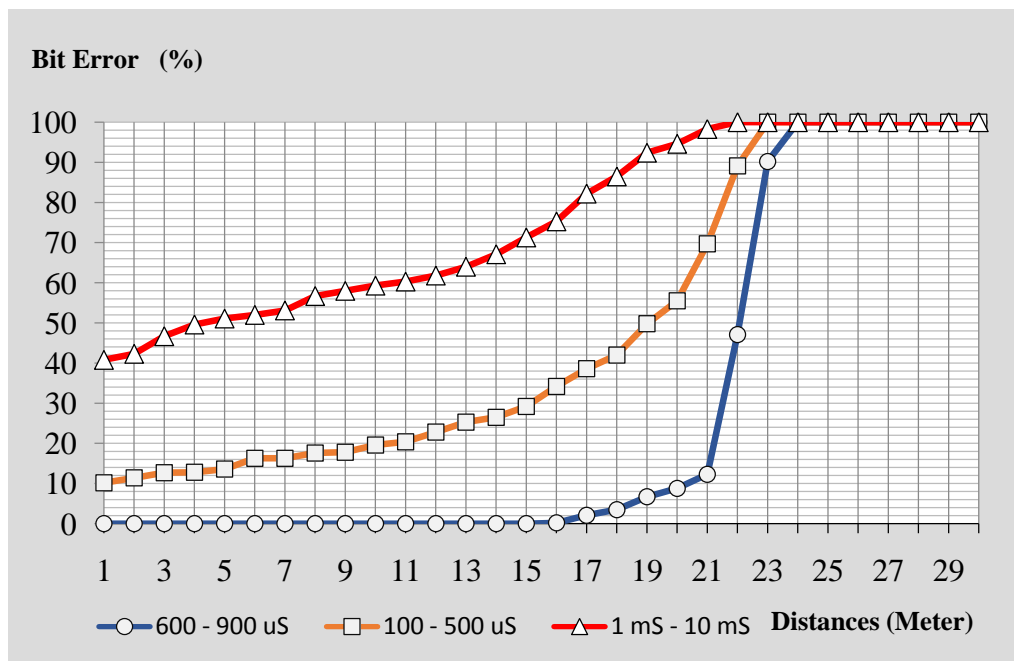
	
<p><b>Pergeseran Bit Secara Ekstrim</b></p>	<p><b>Perubahan <i>Tb</i> sesaat</b></p>
	
<p><b>Perbedaan <i>Tb</i> pada logika <i>High</i></b></p>	<p><b>Perbedaan <i>Tb</i> pada logika <i>Low</i></b></p>

#### 4.1.6 Pengukuran untuk menentukan *Tb* (Time bit) Ideal

Time Bit (*Tb*) merupakan durasi bit informasi yang dipancarkan. Pada thesis ini, parameter ini termasuk dalam desain protokol. Keuntungan dari semakin lama durasi *Tb* adalah kemudahan bagi komponen penerima mendeteksi sinyal informasi karena energi cahaya yang dipancarkan semakin besar. Namun kerugiannya adalah bit rate dari informasi yang dikirim menjadi semakin lambat dan jika semakin besar energi cahaya yang dipancarkan, maka energi cahaya



pantulan juga semakin besar dan menaikkan kemungkinan terjadinya bit error. Motivasi dari uji coba ini adalah untuk mencari  $T_b$  ideal. Karena jika terlalu pendek durasinya, maka semakin sulit terdeteksi oleh penerima. Sebaliknya jika terlalu lama, maka semakin menaikkan kemungkinan terjadinya bit error sehingga komunikasi menjadi sangat terganggu. Metode pengukuran dilakukan seperti pada uji coba sebelumnya (4.1.1, 4.1.2, dan 4.1.3) namun pada pengukuran ini, waktu  $T_b$  pada protokol komunikasi khususnya pada *node transmitter* diubah-ubah. Kemudian pada *node receiver*, dilakukan pengamatan prosentase bit error. Adapun hasil pengukuran adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Prosentase Bit Error Pada Variasi  $T_b$

Hasil pengujian menunjukkan beberapa point penting antara lain adalah sebagai berikut:

- Jika pada datasheet komponen, durasi dari  $T_b$  yang direkomendasikan untuk performansi maksimum adalah 600  $\mu$ S. namun jika dilihat dari segi pengukuran,  $T_b$  ideal berada pada kisaran 600 hingga 900  $\mu$ S. Hasil pengujian pada Gambar 4.9 ditunjukkan oleh garis biru.

- Jika durasi  $T_b$  berada pada kisaran dibawah 600  $\mu\text{S}$  (100 – 500  $\mu\text{S}$ ) maka prosentase bit error akan naik. Dan kondisi ini tidak cocok untuk digunakan dalam penentuan  $T_b$ . Disamping itu, kisaran ini memang tidak direkomendasikan oleh datasheet karena respon komponen penerima menjadi terganggu. Hasil pengujian pada Gambar 4.9 ditunjukkan oleh garis kuning.
- Ketika durasi  $T_b$  berada pada kisaran diatas 900  $\mu\text{S}$  (1 - 10 mS), dimana secara logika seharusnya komponen penerima dapat lebih mudah dalam mendeteksi sinyal informasi, namun setelah dilakukan pengukuran secara langsung prosentase bit error menjadi lebih besar dari pengukuran sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh semakin kuat cahaya pantulan dan mengganggu sistem komunikasi. Hasil pengujian pada Gambar 4.9 ditunjukkan oleh garis merah.

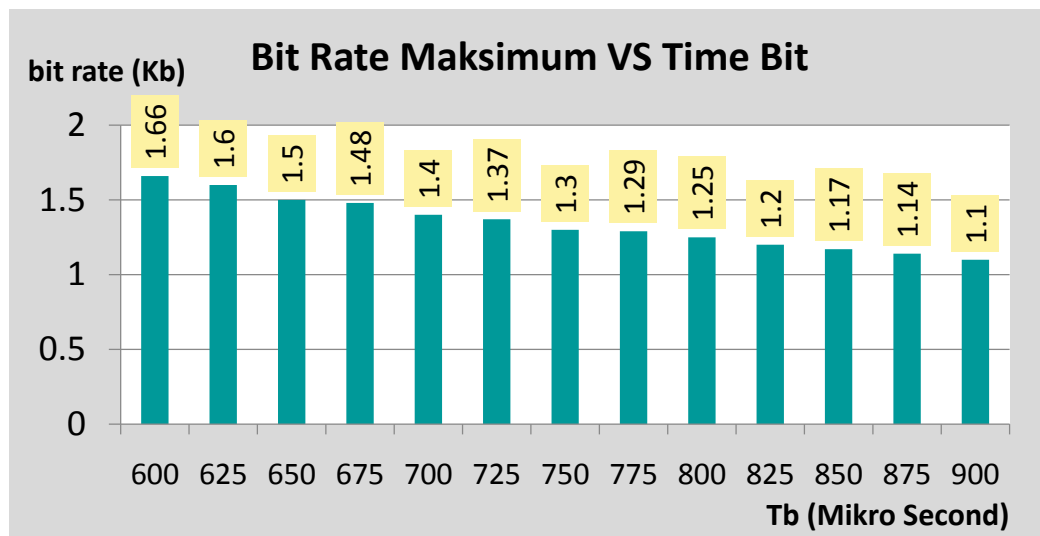
#### 4.1.7 Bit Rate Maksimum Pada Beberapa Variasi $T_b$

Dari hasil pengukuran pada point sub bab 4.1.6, dimana  $T_b$  ideal berkisar antara 600 hingga 900  $\mu\text{S}$ , maka pembahasan ini dilakukan untuk menentukan bit rate maksimum yang dapat dipancarkan oleh *node* WSN. Dengan mempertimbangkan protokol bawaan dari TSOP 34838, maka bit rate maksimum yang dapat dikirim adalah  $1/T_b$ . Dalam hal ini bandwidth dari optikal ASK tidak berlaku dalam perhitungan bit rate karena frekuensi kerja dari TSOP 34838 adalah frekuensi tunggal 38 KHz. Tabel menunjukan hasil perhitungan bit rate pada kisaran  $T_b$  ideal antara 600  $\mu\text{S}$  hingga 900  $\mu\text{S}$ . Dimana bit rate maksimum adalah 1.66 Kbps pada  $T_b$  600  $\mu\text{S}$  dan 1.1 Kbps pada  $T_b$  900  $\mu\text{S}$ .

Tabel 4.7 Tabel Perhitungan Bit Rate Pada Kisaran  $T_b$  Ideal

$T_b$ ( $\mu\text{S}$ )	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900
bps	1666	1600	1538	1481	1428	1379	1333	1290	1250	1212	1176	1142	1111
Kbps	1.66	1.6	1.5	1.48	1.4	1.37	1.3	1.29	1.25	1.2	1.17	1.14	1.1

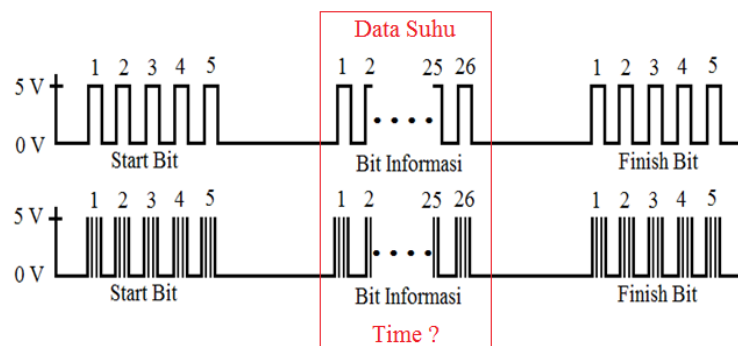
Bila hasil analisa pada Tabel 4.7 divisualisasikan kedalam grafik, maka hasilnya seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Bit Rate Maksimum VS Time Bit.

#### 4.1.8 Waktu Pengiriman Informasi Pada Beberapa Variasi Tb

Pembahasan ini dilakukan untuk estimasi waktu pengiriman informasi dengan mempertimbangkan Time bit dan protokol komunikasi. Adapun detail dari tujuan estimasi adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Ilustrasi tujuan estimasi

Pada protokol komunikasi, lama waktu pengiriman informasi bergantung dari data suhu yang dikirim. jika misalkan suatu node hendak mengirim data suhu 37°C, maka node akan mengirim pulse bit sebanyak 37 kali dan satu pulse bit memiliki durasi 2 kali Tb. Sehingga waktu pengiriman informasi dapat diestimasi dengan :  $(\text{datasuhu} \times 2 \times \text{Tb})$ . Adapun detail dari scenario estimasi adalah sebagai berikut:

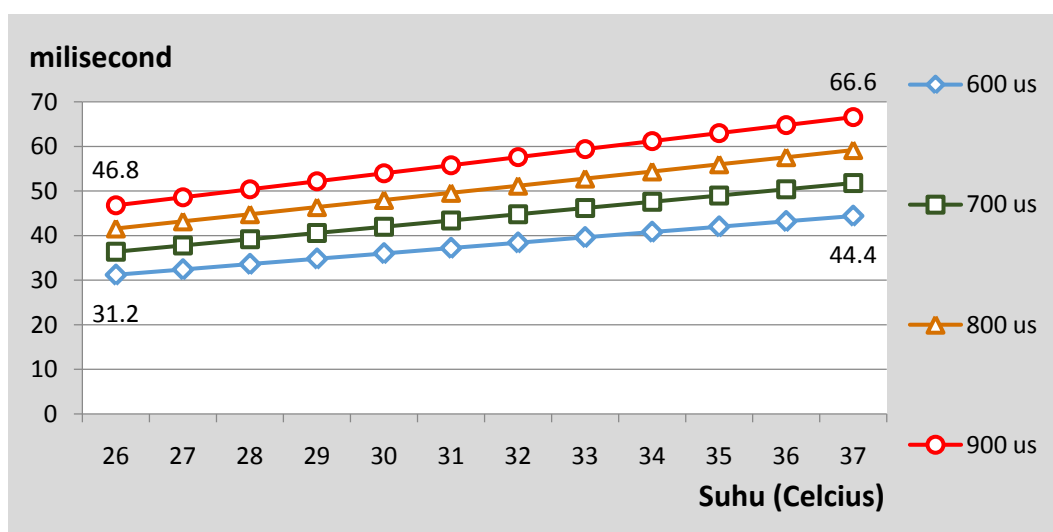
- Start bit, jeda antar bit dan finish bit diabaikan (Gambar 3.9).
- Estimasi ini tidak melibatkan penjadwalan.

- Node mengirimkan data suhu mulai dari 26°C yang mewakili suhu indoor hingga 37°C yang mewakili suhu outdoor.

Adapun hasil dari estimasi adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.8 dan divisualisasikan kedalam grafik seperti pada Gambar 4.12. Kesimpulan dari estimasi ini adalah lama waktu pengiriman informasi pada suhu normal dengan Tb yang berbeda membutuhkan waktu 31,2 ms hingga 66,6 ms.

Tabel 4.8 Estimasi Waktu Pengiriman Informasi Pada Tb Yang Berbeda

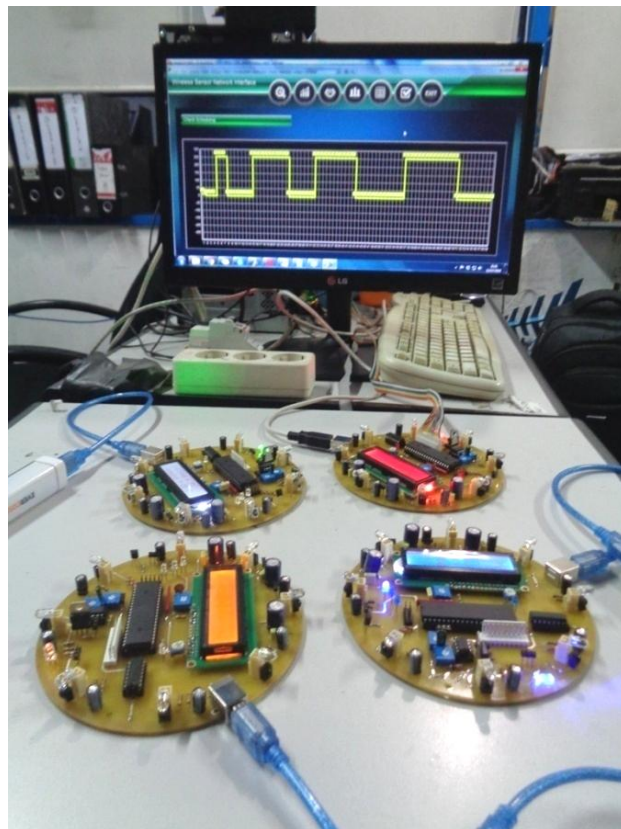
Suhu (Celcius)	waktu pengiriman informasi (milisecond) pada Tb yang berbeda			
	600 us	700 us	800 us	900 us
26	31.2	36.4	41.6	46.8
27	32.4	37.8	43.2	48.6
28	33.6	39.2	44.8	50.4
29	34.8	40.6	46.4	52.2
30	36	42	48	54
31	37.2	43.4	49.6	55.8
32	38.4	44.8	51.2	57.6
33	39.6	46.2	52.8	59.4
34	40.8	47.6	54.4	61.2
35	42	49	56	63
36	43.2	50.4	57.6	64.8
37	44.4	51.8	59.2	66.6



Gambar 4.12 Grafik Waktu Pengiriman Informasi Pada Tb Yang Berbeda

#### 4.1.9 Uji Coba Pada Penjadwalan TDMA

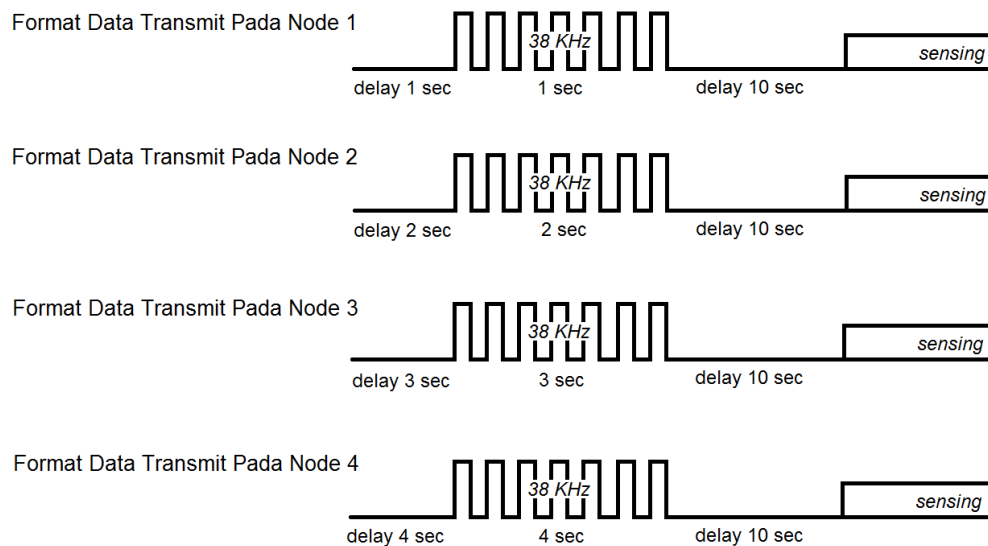
Motivasi dari uji coba ini adalah untuk memastikan penjadwalan TDMA yang telah dirancang berjalan dengan baik dan sesuai rencana. Penjadwalan TDMA dirancang agar *node* WSN memancarkan informasi secara bergantian dan sesuai nomor urut pada time slot yang ada. Sehingga perlu untuk dilakukan pengujian apakah *node* sudah bekerja sesuai slot yang sudah direncanakan. Gambar 4.13 menunjukkan metode uji coba pada penjadwalan TDMA.



Gambar 4.13 Metode Uji Coba Pada Penjadwalan TDMA

Proses uji coba menggunakan software interface yang berfungsi untuk memantau lalu lintas data yang terdiri dari data informasi dan data alamat *node* pengirim. Kinerja algoritma penjadwalan TDMA dikatakan baik jika *node* 1 memiliki waktu kedatangan lebih dulu dari *node* 2 disusul *node* 3 lalu *node* 4, kembali lagi ke *node* 1 dan begitu pula seterusnya.

Uji coba ini fokus pada waktu kedatangan sinyal informasi dan keteraturan sesuai urutan slot, maka perlu dilakukan skenario pengujian. Gambar 4.14 menunjukkan ilustrasi format test sinyal yang merupakan bagian dari skenario uji coba.

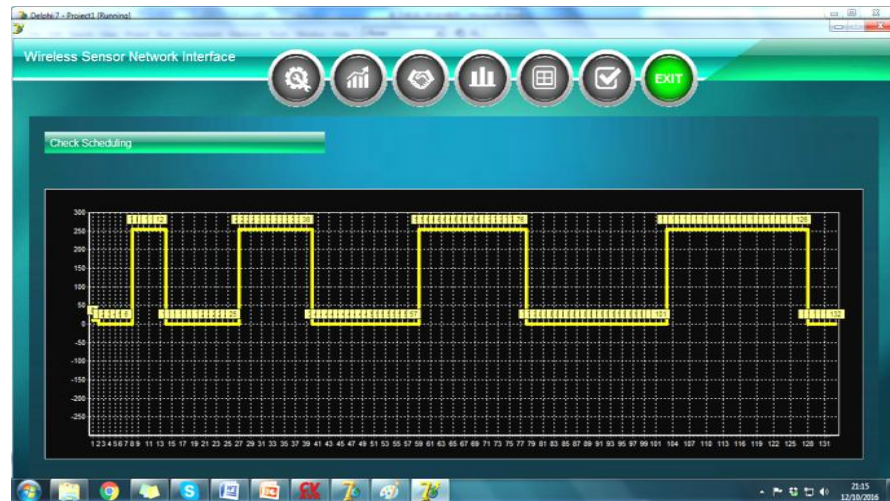


Gambar 4.14 Skenario Uji Coba Untuk Penjadwalan TDMA

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.14, Data yang dikirim oleh masing-masing *node* dikondisikan berbeda untuk mempermudah analisa pada software interface. Berikut adalah detail dari skenario

- Variasi delay 1 detik sampai dengan 4 detik dan delay tunggu 10 detik adalah aturan pada protokol TDMA yang telah dirancang.
- Data transmit yang dikirim oleh tiap *node* adalah sinyal square wave 38 KHZ.
- Durasi dari pengiriman sinyal square wave tiap *node* secara berturut turut adalah 1 detik untuk *node* 1, 2 detik untuk *node* 2, 3 detik untuk *node* 3 dan 4 detik untuk *node* 4. Hal ini dilakukan untuk membedakan data pada tiap alamat *node*.
- Software interface yang terhubung pada *node* Cluster Head, mencatat aktivitas *node* dan menampilkan pada grafik.
- Software interface membangkitkan waktu hitung yang merupakan bilangan integer dengan resolusi tiap 200 mS. Sehingga pada

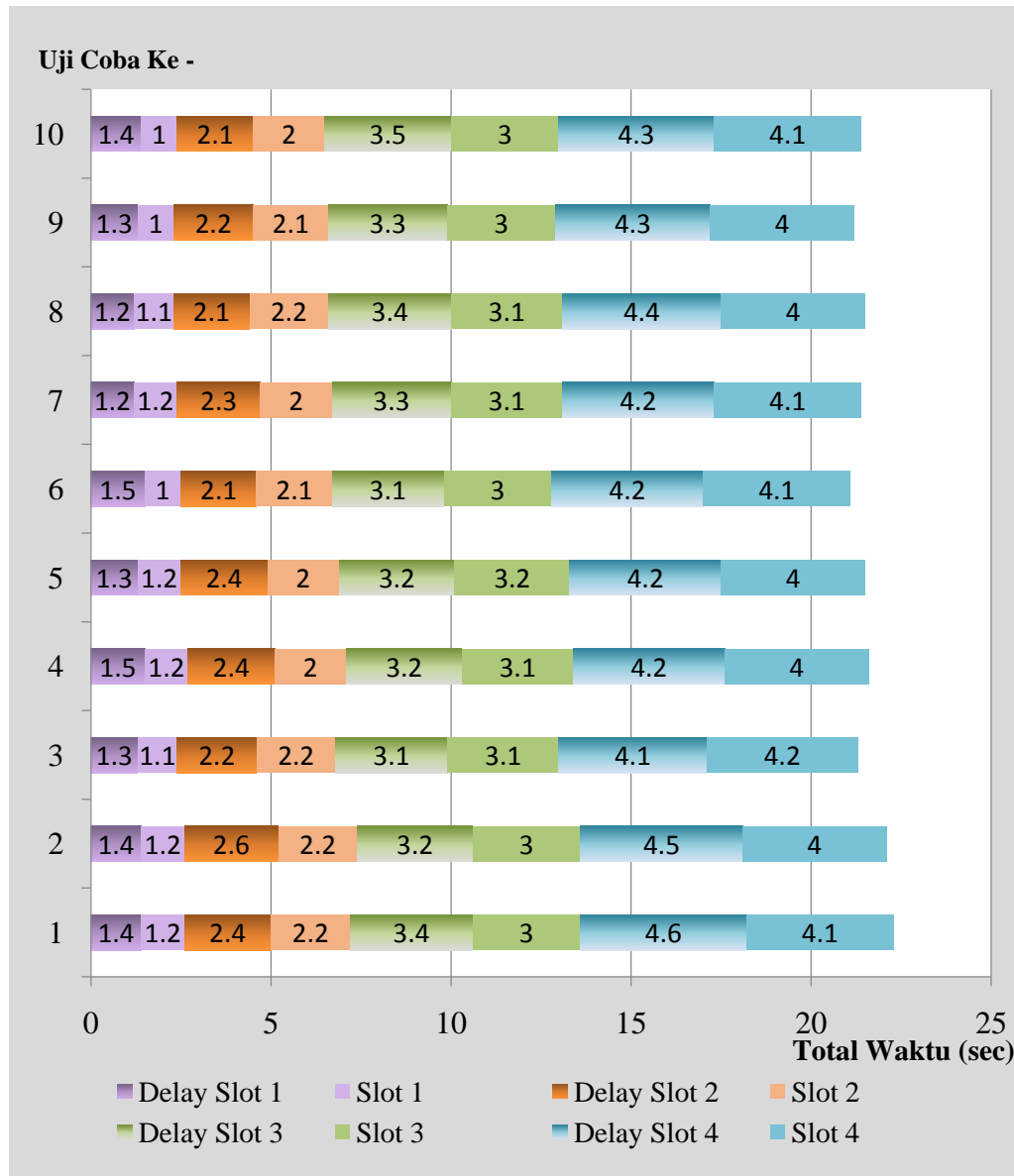
software interface perbedaan satu angka pada grafik bernilai 200 mS. Misalkan jika data pada slot 1 terdeteksi berjumlah 5 skala waktu, maka dapat diartikan ( $5 \times 200 \text{ mS} = 1000 \text{ mS}$ ). Gambar 4.15 adalah tampilan software interface dimana lebar horizontal setiap kotak adalah mewakili durasi dan urutan penjadwalan.



Gambar 4.15 Tampilan Software Interface Pada Uji Coba TDMA

- Uji coba dilakukan pada 10 kali pengamatan dan pencatatan hasil.
- Kemudian dilakukan analisa perbandingan antara kesalahan yang terjadi dari hasil pengukuran dengan skenario uji coba penjadwalan.
- Langkah terakhir adalah dilakukan analisa untuk mengetahui apakah tiap *node* dapat mematuhi urutan time slot.

Setelah dilakukan perencanaan skenario dan pelaksanaan uji coba, maka hasil dari uji coba adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Hasil Uji Coba Penjadwalan TDMA

Adapun penjelasan dari 10 kali hasil uji coba pada Gambar 4.16 adalah sebagai berikut. Misal pada uji coba ke 1, Delay slot 1 sebesar 1,4 detik dan Slot 1 sebesar 1,2 detik padahal sesuai penjadwalan adalah 1 detik. Hal ini dapat diartikan terjadi kesalahan atau molor waktu pada time slot. Untuk itu, pada tahap berikutnya dilakukan analisa perbandingan antara kesalahan yang terjadi



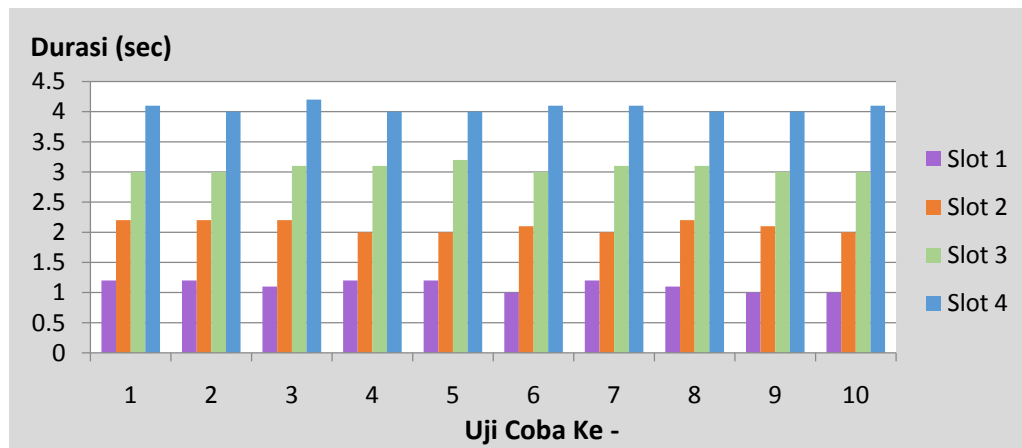
berdasarkan hasil pengukuran dengan skenario uji coba penjadwalan. Adapun hasil dari analisa adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Skenario Penjadwalan.

	Trial Ke - (Sec)										Durasi sesuai skenario (sec)	Rata-Rata Kesalahan (sec)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Delay Slot 1	1.4	1.4	1.3	1.5	1.3	1.5	1.2	1.2	1.3	1.4	1	0.35
Slot 1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1	1.2	1.1	1	1	1	0.12
Delay Slot 2	2.4	2.6	2.2	2.4	2.4	2.1	2.3	2.1	2.2	2.1	2	0.28
Slot 2	2.2	2.2	2.2	2	2	2.1	2	2.2	2.1	2	2	0.1
Delay Slot 3	3.4	3.2	3.1	3.2	3.2	3.1	3.3	3.4	3.3	3.5	3	0.27
Slot 3	3	3	3.1	3.1	3.2	3	3.1	3.1	3	3	3	0.06
Delay Slot 4	4.6	4.5	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.4	4.3	4.3	4	0.3
Slot 4	4.1	4	4.2	4	4	4.1	4.1	4	4	4.1	4	0.06

Dari Tabel 4.9 dapat disimpulkan bahwa rata-rata kesalahan pada time slot lebih kecil dari jeda antar slot. Pada time slot, rata-rata kesalahan mulai dari 0.06 detik hingga 0.12 detik (Slot 1 sampai Slot 4 pada tabel). Sedangkan jeda antar slot relatif lebih besar yaitu pada kisaran 0.27 hingga 0.35 detik (Delay slot 1 sampai Delay Slot 4 pada tabel). Hal ini disebabkan oleh respon *node* terhadap transisi perpindahan slot. Sementara proses transmit data oleh tiap *node* pada Slot1, Slot2, Slot3 dan Slot 4 tidak ada permasalahan signifikan.

Analisa selanjutnya adalah keteraturan time slot dimana motivasi dari analisa ini adalah untuk memastikan kembali bahwa *node* benar-benar mematuhi urutan time slot sesuai skenario. Analisa dilakukan dengan memvisualisasikan data pada Tabel 4.9 kedalam sebuah grafik seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Analisa Keteraturan Time Slot Pada Penjadwalan TDMA.

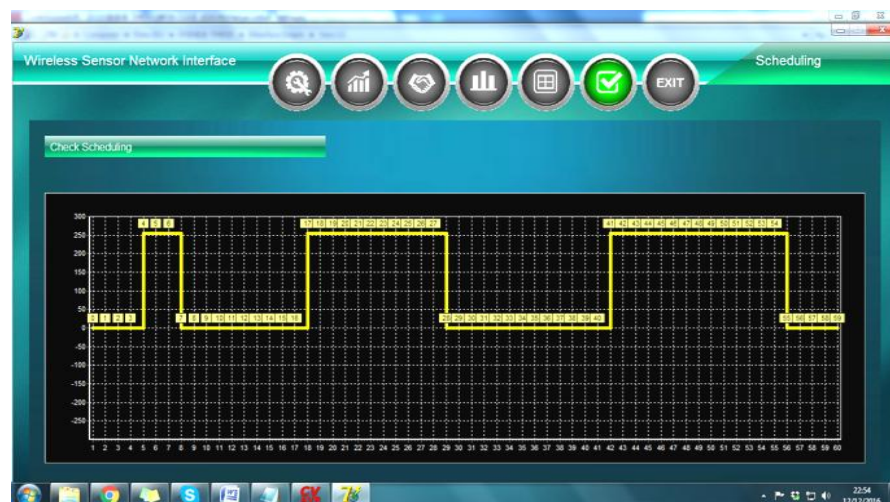
Pada rancangan skenario, *node* 4 mentransmit sinyal 38 KHz satu detik lebih lama dari *node* 3, sedangkan *node* 3 mentransmit satu detik lebih lama dari *node* 2 dan seterusnya. Bila dibandingkan dengan analisa pada Gambar 4.17, Dari 10 kali uji coba, Slot 4 selalu lebih lama dari slot 3. Kemudian Slot 3 selalu lebih lama dari slot 2. Dan slot 2 selalu lebih lama dari slot 1. Maka dapat disimpulkan bahwa 4 buah *node* telah menjalankan time slot dengan baik sesuai penjadwalan.

#### 4.1.10 Uji Coba Pada Penjadwalan CSMA

Motivasi dari uji coba ini adalah untuk memastikan penjadwalan CSMA yang telah dirancang berjalan dengan baik dan sesuai rencana khususnya ketika ada minimal salah satu *node* kehabisan energi (mati). Kinerja algoritma penjadwalan CSMA dikatakan baik jika ketika ada *node* yang mati, maka *node* dapat berpindah slot secara otomatis dan tetap sesuai urutan. Uji coba dilakukan menggunakan 4 *node* yang bekerja berdasarkan penjadwalan TDMA. Kemudian satu *node* dibuat mati dengan cara mencabut baterai. Uji coba dikatakan berhasil jika slot yang ditinggalkan oleh *node* tersebut diisi oleh *node* lain. Seperti pada uji coba 4.1.9, proses uji coba juga dilakukan dengan menggunakan bantuan software interface.

Uji coba ini hanya fokus pada penyesuaian penjadwalan pada saat beberapa *node* dalam keadaan mati. Skenario pengujian pada penjadwalan CSMA sama dengan penjadwalan pada TDMA. Namun yang membedakan adalah sebagai berikut:

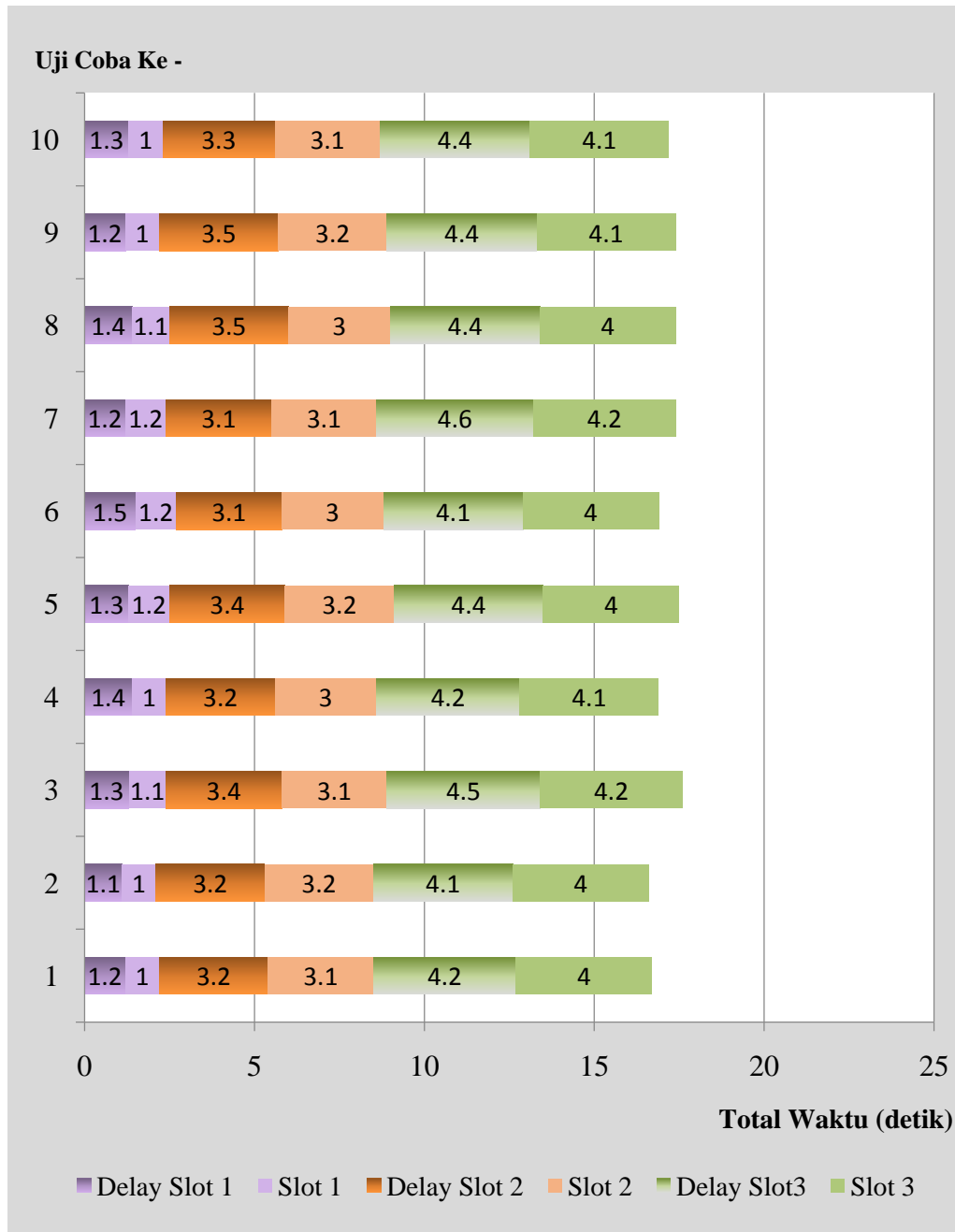
- Skenario uji coba meliputi 2 macam kondisi dimana pada kondisi 1 (*scheme-1*) terdapat satu *node* yang mati. Sedangkan pada kondisi 2 (*Scheme-2*) terdapat dua *node* yang mati.
- Pada *scheme-1*, *node* yang mati adalah *node* 2. Jika satu *node* mati, maka time slot yang berjumlah 4 slot berubah menjadi 3 slot.
- Pada *scheme-2*, *node* yang mati adalah *node* 2 dan *node* 3. Jika dua *node* mati, maka time slot yang berjumlah 4 slot berubah menjadi 2 slot.
- Dalam skenario, *node* 4 tidak pernah mati karena berfungsi sebagai Cluster Head dimana software interface terhubung melalui *node* ini. Sedangkan *node* 1 tidak pernah mati karena dalam melakukan uji coba, minimal menyisakan 2 *node* yang masih hidup. Dalam hal ini, *node* yang masih tetap hidup adalah *node* 1 dan *node* 4.
- Seperti pada uji coba penjadwalan TDMA, uji coba dilakukan dengan bantuan software interface dengan resolusi sampling waktu 200 mS.



Gambar 4.18 Tampilan Software Interface Pada Pengujian CSMA

- Langkah terakhir adalah dilakukan analisa untuk mengetahui apakah tiap *node* dapat mematuhi urutan time slot meskipun terjadi perubahan akibat satu atau dua *node* mati.

Setelah dilakukan perencanaan skenario dan pelaksanaan uji coba, maka hasil dari uji coba pada *Scheme-1* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.19.

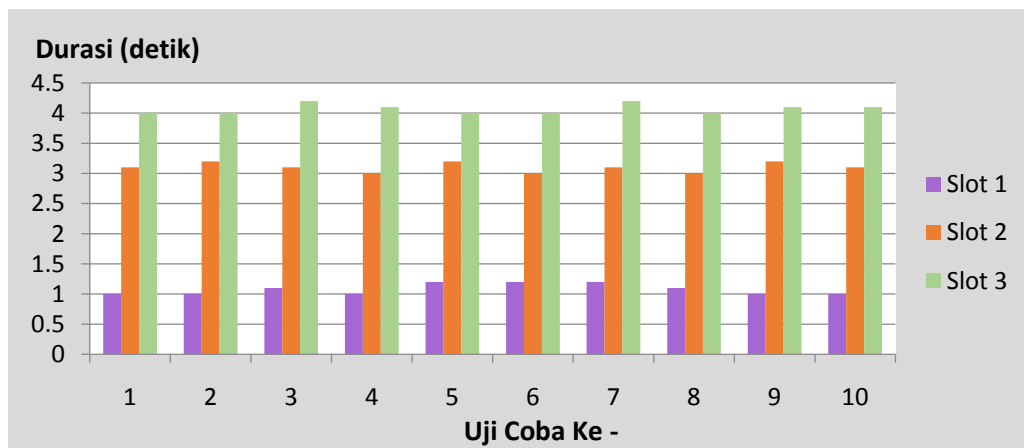


Gambar 4.19 Hasil Uji Coba Penjadwalan CSMA (*Scheme-1*)

Adapun penjelasan dari 10 kali hasil uji coba pada Gambar 4.19 adalah sebagai berikut. Dari hasil uji coba mulai dari ke-1 hingga uji coba ke-10, Delay Slot 2 (Warna Jingga Tua) rata-rata kurang lebih 3 detik dan durasi waktu

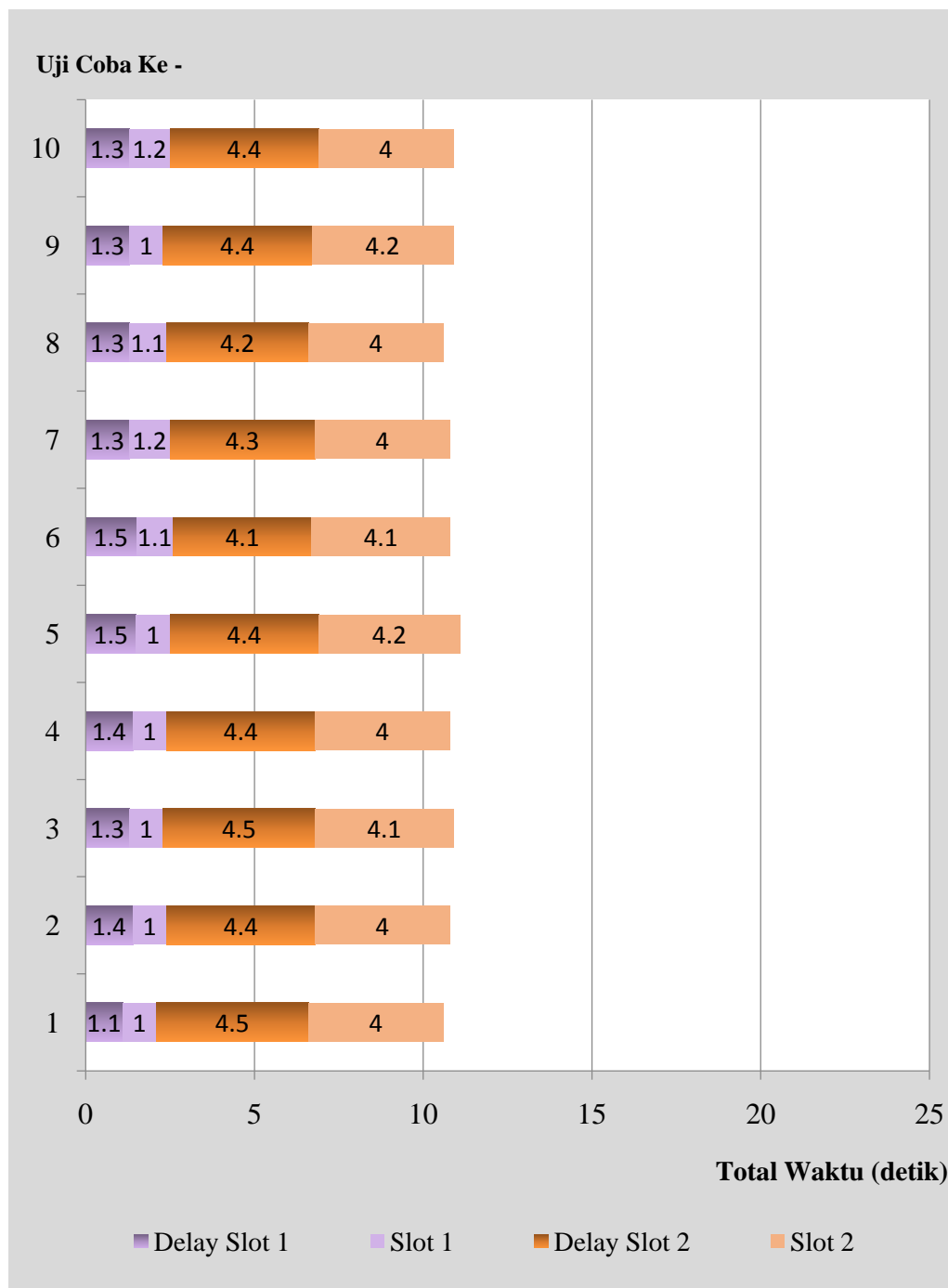
transmit pada Slot 2 (Warna jingga) rata-rata kurang lebih 3 detik juga. Disisi lain hanya *node* 3 yang memiliki rentang durasi transmisi data selama 3 detik. Hal ini menandakan bahwa *node* 3 sudah mengambil alih time slot yang telah ditinggalkan oleh *node* 2 dan *node* 4 mengambil alih time slot yang semula ditempati oleh *node* 3.

Analisa selanjutnya adalah keteraturan time slot dengan tujuan untuk memastikan kembali bahwa *node* benar-benar mematuhi urutan time slot sesuai skenario meskipun salah satu *node* mati. Untuk memudahkan proses analisa, maka data hasil uji coba divisualisasikan kedalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.20. Dari 10 kali uji coba, Slot 3 selalu lebih lama dari slot 2. Kemudian Slot 2 selalu lebih lama dari slot 1. Maka dapat disimpulkan bahwa 3 buah *node* yang masih aktif telah menjalankan time slot dengan baik sesuai penjadwalan.



Gambar 4.20 Keteraturan Time Slot Pada Penjadwalan CSMA (*Scheme-1*)

Setelah dilakukan uji coba pada *Scheme-1* maka proses selanjutnya adalah uji coba pada *Scheme-2*. Karena hanya ada dua *node* yang masih aktif, maka time slot secara otomatis akan menyisakan 2 slot. Untuk itu pada sesi ini tidak perlu dilakukan analisa keteraturan time slot. Gambar 4.21 menunjukkan hasil dari 10 kali uji coba penjadwalan CSMA khususnya *Scheme-2*. Karena Time slot hanya tinggal 2, maka secara mutlak dimiliki oleh *node* yang masih aktif yaitu *node* 1 dan *node* 4.

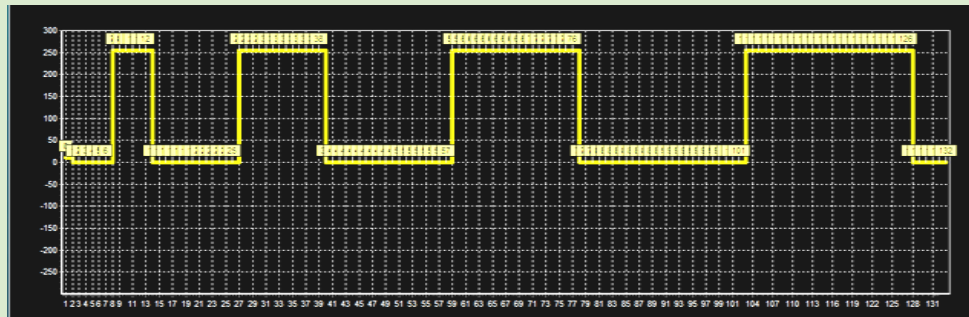


Gambar 4.21 Hasil Uji Coba Penjadwalan CSMA (*Scheme-2*)

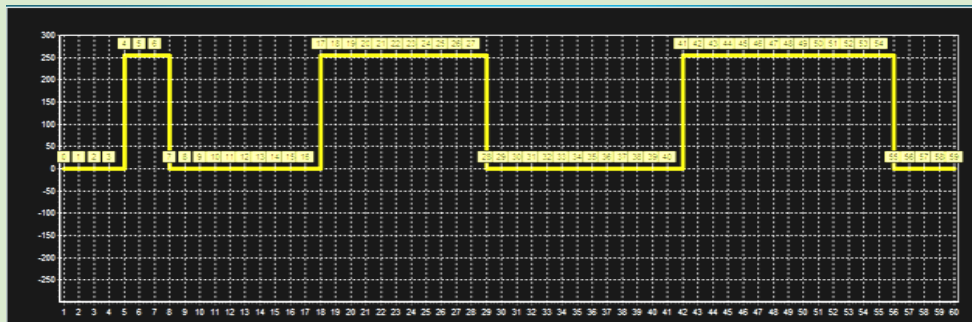
Untuk melengkapi hasil uji coba pada penjadwalan TDMA dan CSMA baik pada *Scheme-1* maupun *Scheme-2*, Tabel 4.10 menunjukkan screen shoot dari grafik pada software interface yang memperlihatkan keteraturan time slot. Secara keseluruhan perancangan algoritma pada MAC layer sudah berjalan dengan baik.

Tabel 4.10 Screen Shoot Grafik Pada Software Interface

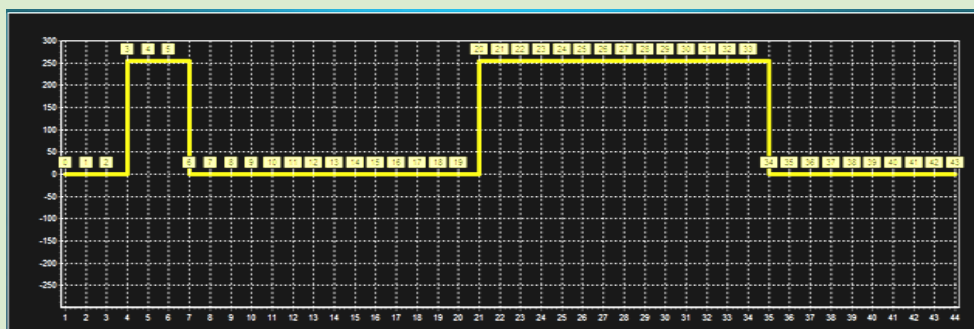
### Penjadwalan TDMA



### Penjadwalan CSMA Scheme-1 ( Node 2 Mati )



### Penjadwalan CSMA Scheme-2 ( Node 2 dan 3 Mati )



## 4.2 Uji Coba dari Aspek Algoritma Konsensus

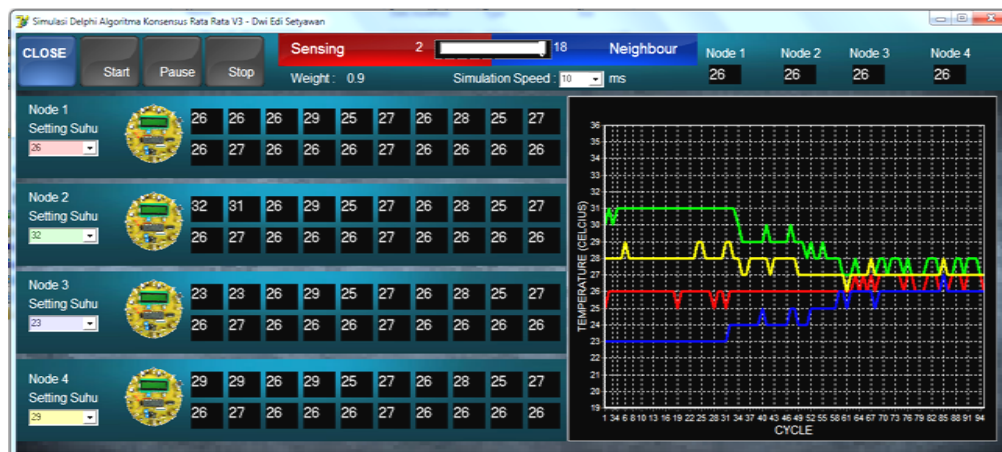
Pada thesis ini, Algoritma Konsensus Rata-rata diimplementasikan pada sebuah *node* WSN dimana prosessor utama memiliki keterbatasan kemampuan komputasinya. Setelah dilakukan penyesuaian pada proses perancangan algoritma, maka proses selanjutnya adalah dilakukan uji coba berkaitan dengan performansi algoritma konsensus. Adapun urutan rangkaian uji coba antara lain sebagai berikut:

- Awal mula dilakukan uji coba simulasi untuk estimasi konvergensi (Sub Bab 4.2.1).
- Hasil estimasi konvergensi selanjutnya dikaitkan dengan penjadwalan (Sub Bab 4.2.2).
- Dengan menggunakan parameter dan skenario yang sama, dilakukan uji coba langsung (Sub Bab 4.2.3)
- Hasil estimasi konvergensi dibandingkan dengan hasil konvergensi pada uji coba langsung (Sub Bab 4.2.4).
- Selanjutnya uji coba dilakukan pada hal lain yaitu simulasi algoritma penanganan error sensing yang merupakan proses pra konsensus (Sub Bab 4.2.5).
- Setelah dilakukan simulasi, dilakukan uji coba langsung untuk menguji kinerja dari algoritma penanganan error sensing (Sub Bab 4.2.6).
- Kemudian dilakukan uji coba pengaruh noise dan gangguan komunikasi (Sub Bab 4.2.7). Hasil dari uji coba ini digunakan sebagai referensi dalam menentukan setting point pada algoritma penanganan error komunikasi.
- Algoritma penanganan error komunikasi juga merupakan proses pra konsensus. Dilakukan uji coba langsung untuk menguji kinerja dari algoritma tersebut pada node. (Sub Bab 4.2.8).
- Uji coba terakhir adalah berkaitan dengan tujuan dari algoritma konsensus yaitu konvergensi dan akurasi. Uji coba ini dilakuka pada lingkungan *indoor* (Sub Bab 4.2.9) dan lingkungan *outdoor* (Sub Bab 4.2.10).



#### 4.2.1 Simulasi Algoritma Konsensus Rata-Rata

Simulasi algoritma konsensus rata-rata dilakukan untuk analisa kinerja algoritma khususnya pada kondisi sempurna dimana tidak ada kegagalan ataupun gangguan komunikasi. Adapun tujuan lain adalah untuk memastikan potensi terjadinya konvergensi data antar *node* mengingat algoritma konsensus yang digunakan pada thesis ini adalah hasil penyesuaian dari usulan penelitian sebelumnya [9]. Gambar 4.22 menunjukan screen shoot dari software simulasi.



Gambar 4.22 Screen Shoot Software Simulasi Algoritma Konsensus

Untuk melakukan simulasi, maka dibutuhkan skenario untuk menggambarkan kemungkinan situasi pada WSN. Berikut adalah skenario dari simulasi tersebut.

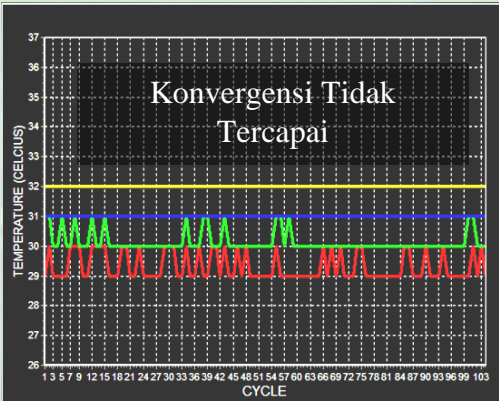
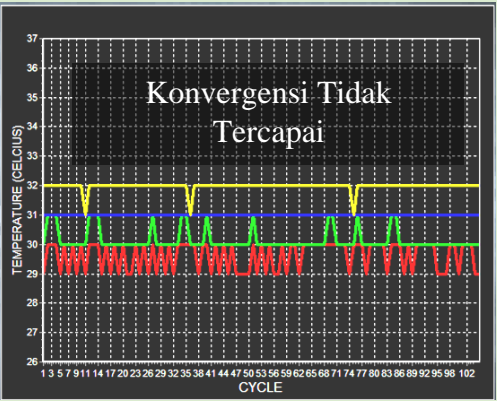
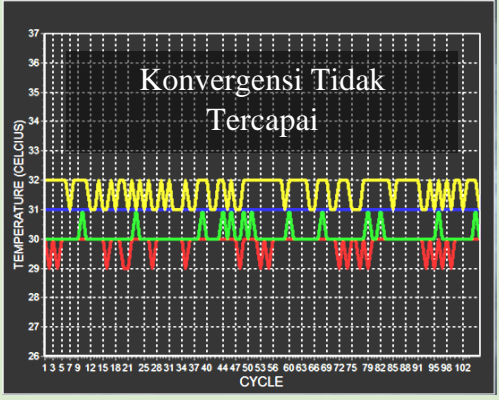
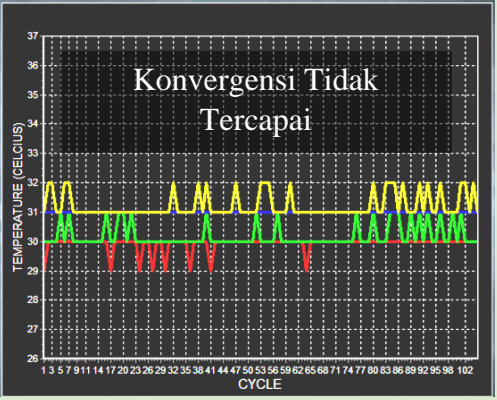
- Skenario uji coba ke-1 menggambarkan dimana *node* ditempatkan pada area yang berdekatan untuk memantau suhu lingkungan *outdoor*. *Node* 1 mendeteksi suhu sebesar 30°C. *Node* 2 mendeteksi suhu sebesar 31°C, *Node* 3 mendeteksi suhu sebesar 32°C dan *Node* 4 mendeteksi suhu sebesar 33°C. Skenario ini disusun untuk mewakili kondisi dimana setiap *node* bekerja dengan normal dan dengan situasi yang normal. Maka wajar jika terjadi sedikit perbedaan pada data tiap sensor.
- Skenario uji coba ke-2 menggambarkan dimana *node* ditempatkan pada area yang berjauhan untuk memantau suhu lingkungan *outdoor*. *Node* 1 mendeteksi suhu sebesar 39°C, *Node* 2 mendeteksi suhu

sebesar 37°C, *Node* 3 mendeteksi suhu sebesar 35°C dan *Node* 4 mendeteksi suhu sebesar 33°C. Skenario ini disusun untuk mewakili kondisi dimana setiap *node* bekerja dengan normal namun karena posisi saling berjauhan, maka perbedaan data sensing menjadi sangat jauh berbeda.

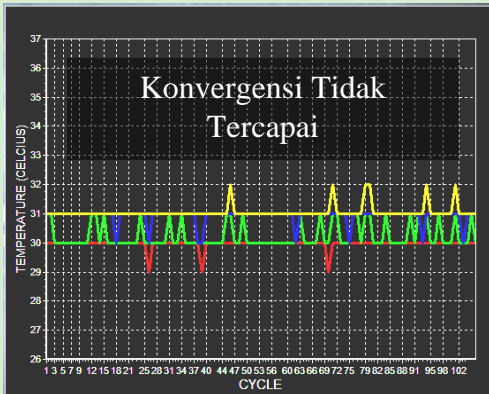
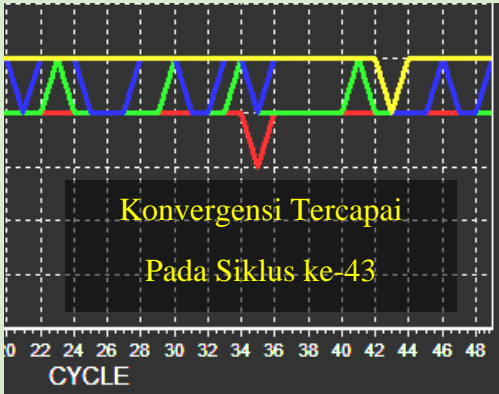
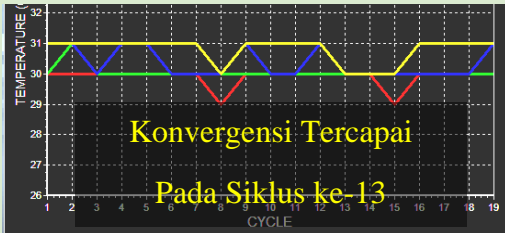
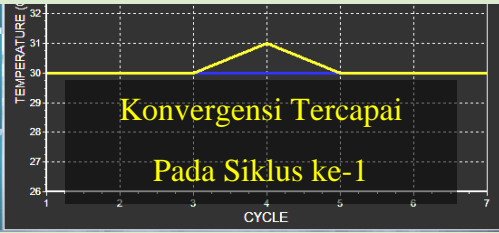

- Target dari simulasi adalah mengetahui kapan terjadinya konvergensi.
- Konvergensi dianalisa dari segi rata-rata jumlah siklus iterasi atau *cycle* dan bukan berdasarkan waktu. Hal ini dilakukan karena pada implementasi nyata, waktu konvergensi tidak hanya dipengaruhi oleh kinerja algoritma, tetapi juga dipengaruhi oleh durasi aktivitas komunikasi antar *node* dan penjadwalan. Sedangkan fokus simulasi bertujuan untuk analisa kinerja algoritma.
- Pada proses simulasi, *running* program akan berhenti ketika terjadi konvergensi pada 4 *node* yang ditandai dengan kesamaan data informasi suhu. Setelah program berhenti, maka dilakukan pencatatan hasil untuk dilakukan analisa.
- Software simulasi juga mendeskripsikan parameter algoritma konsensus khususnya pembobotan (Weight). Karena penyesuaian pembobotan yang dilakukan pada thesis ini adalah alokasi memori (pembahasan pada sub bab 3.8.1), maka simulasi dilakukan pada beberapa konfigurasi.

Uji coba pertama dilakukan menggunakan skenario ke-1 dengan pembobotan 0,1 hingga 0,9. Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 menunjukkan hasil uji coba simulasi.

Tabel 4.11 Hasil Simulasi Pada Skenario ke-1

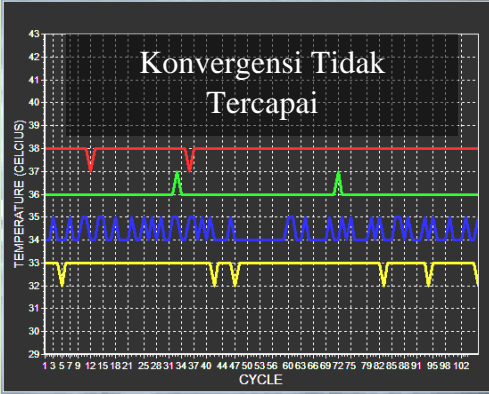
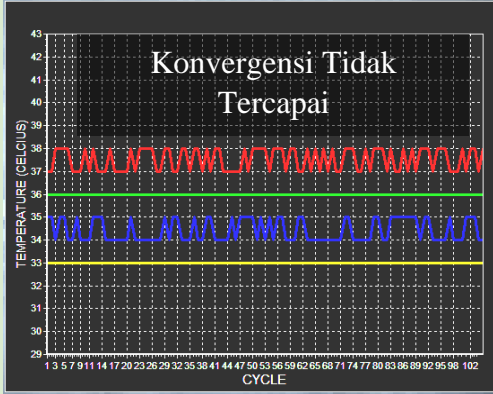
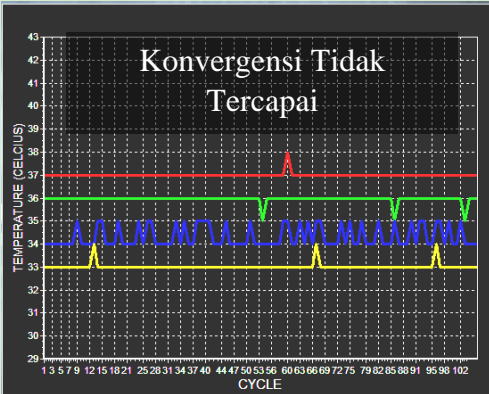
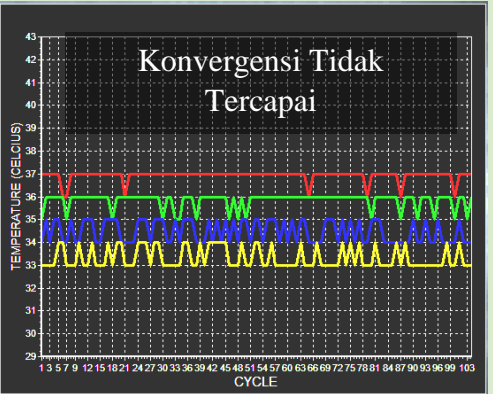
<p><b>Pembobotan = 0,1</b> (18 Slot memory untuk sensing dan 2 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,2</b> (16 Slot memory untuk sensing dan 4 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	
<p><b>Pembobotan = 0,3</b> (14 Slot memory untuk sensing dan 6 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,4</b> (12 Slot memory untuk sensing dan 8 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	

Tabel 4.12 Tabel Lanjutan Hasil Simulasi Pada Skenario ke-1

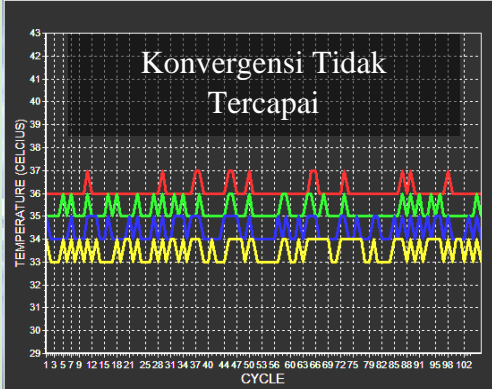
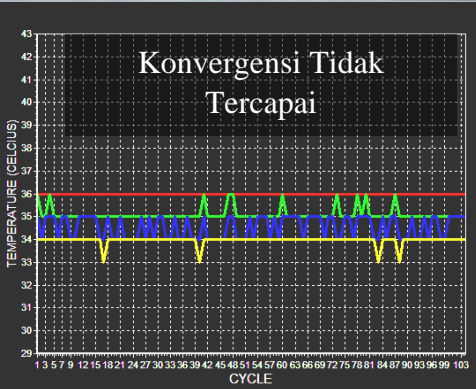
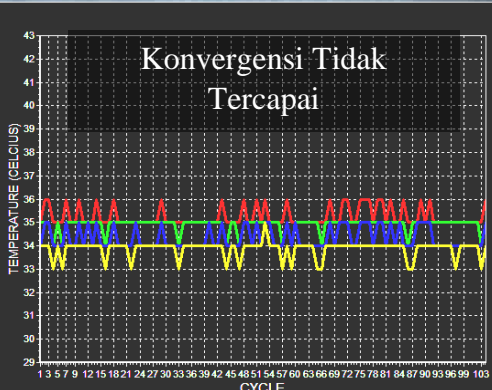
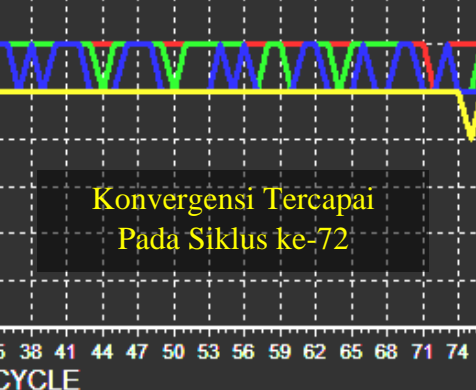

<p><b>Pembobotan = 0,5</b> (10 Slot memory untuk sensing dan 10 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,6</b> (8 Slot memory untuk sensing dan 12 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	
<p><b>Pembobotan = 0,7</b> (6 Slot memory untuk sensing dan 14 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,8</b> (4 Slot memory untuk sensing dan 16 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	
<p><b>Pembobotan = 0,9</b> (2 Slot memory untuk sensing dan 18 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	
	

Uji coba dilanjutkan dengan menggunakan skenario ke-2 dimana perbedaan data pada tiap *node* sangat berbeda. Uji coba simulasi dilakukan pada konfigurasi mulai dari 0,1 hingga 0,9. Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 menunjukkan hasil dari uji coba simulasi

Tabel 4.13 Hasil Simulasi Pada Skenario ke-2

<p><b>Pembobotan = 0,1</b> (18 Slot memory untuk sensing dan 2 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,2</b> (16 Slot memory untuk sensing dan 4 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	
<p><b>Pembobotan = 0,3</b> (14 Slot memory untuk sensing dan 6 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,4</b> (12 Slot memory untuk sensing dan 8 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	

Tabel 4.14 Tabel Lanjutan Hasil Simulasi Pada Skenario ke-2

<p><b>Pembobotan = 0,5</b> (10 Slot memory untuk sensing dan 10 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,6</b> (8 Slot memory untuk sensing dan 12 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	
<p><b>Pembobotan = 0,7</b> (6 Slot memory untuk sensing dan 14 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	<p><b>Pembobotan = 0,8</b> (4 Slot memory untuk sensing dan 16 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>
	
<p><b>Pembobotan = 0,9</b> (2 Slot memory untuk sensing dan 18 Slot memory untuk data dari <i>node</i> tetangga)</p>	

Hasil uji coba pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 menunjukkan bahwa pada skenario ke-1, konvergensi tidak dapat tercapai jika menggunakan konfigurasi pembobotan mulai dari 0,1 hingga 0,5. konvergensi sulit tercapai jika menggunakan konfigurasi pembobotan mulai dari 0,6 hingga 0,7. Sedangkan pada konfigurasi pembobotan 0,8 dan 0,9 konvergensi mudah didapat. Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 menunjukkan hasil uji coba bahwa pada skenario ke-2, konvergensi sulit tercapai jika menggunakan konfigurasi pembobotan mulai dari 0,1 hingga 0,8. Konvergensi mudah didapat hanya saat konfigurasi pembobotan sebesar 0,9. Dari hasil ini didapat kesimpulan antara lain sebagai berikut.

- Semakin besar perbedaan data pada tiap *node*, maka semakin sulit menemukan konvergensi. Hal ini didasari oleh hasil pengujian. Pada skenario ke-1 dimana selisih data tiap *node* hanya 1° C, konvergensi bisa didapat dari beberapa konfigurasi pembobotan mulai dari 0,6 hingga 0,9. Sedangkan pada skenario ke-2 dimana selisih data tiap *node* adalah 2° C, konvergensi hanya didapat pada konfigurasi pembobotan 0,9.
- Semakin banyak memory yang dialokasikan untuk data dari *node* tetangga, maka semakin mudah dan cepat memperoleh konvergensi. Hal ini didasari dari dua skenario uji coba dimana pada konfigurasi pembobotan 0,1 konvergensi tidak pernah dicapai. Pembobotan 0,1 mewakili setting memory dimana 2 slot memory dialokasikan untuk *node* tetangga dan 18 slot memory untuk data sensing. Sedangkan pembobotan 0,9 konvergensi selalu tercapai bahkan dengan satu kali siklus. Pembobotan 0,9 mewakili setting memory dimana 18 slot memory dialokasikan untuk *node* tetangga dan 2 slot memory untuk data sensing.

#### **4.2.2 Analisa Waktu Konvergensi**

Waktu yang dibutuhkan *node* melakukan sensing dan kemudian menyimpan ke dalam slot memory tentu berbeda dengan waktu yang dibutuhkan untuk menunggu kedatangan data informasi dari tetangga. Karena penjadwalan maupun proses transmit data membutuhkan waktu yang lebih panjang dari

sekedar melakukan sensing. Analisa ini dilakukan untuk memperkirakan waktu konvergensi berdasarkan 4 aspek yaitu waktu sensing, waktu transmit, penjadwalan TDMA/CSMA dan maksimum minimum siklus konvergensi. Adapun detail dari pertimbangan 4 aspek tersebut adalah sebagai berikut.

- a) Diperkirakan waktu yang dibutuhkan oleh *node* dalam melakukan sensing adalah 2 detik. Waktu sampling ADC berada dalam orde milidetik sehingga dapat diabaikan. Kemudian setelah proses sensing, proses selanjutnya adalah tahap analisa awal (pembahasan sub bab 3.8.2) yang diperkirakan memakan waktu 1 detik.
- b) Waktu yang dibutuhkan oleh *node* untuk transmit data berdasarkan pertimbangan rancangan protokol adalah 2 detik. Kemudian dari segi penjadwalan TDMA/CSMA, total dari delay time slot memakan waktu 10 detik. Jika jumlah *node* berjumlah 4, maka rata-rata delay menjadi 2,5 detik. Sehingga rata-rata total waktu transmit menjadi 4,5 detik.
- c) Konfigurasi pembobotan yang digunakan adalah 0,9 karena pada konfigurasi ini, dua skenario pada pembahasan sebelumnya mencapai konvergensi. Maka alokasi memory untuk sensing adalah 2 slot dan alokasi untuk data tetangga adalah 18 slot.
- d) Analisa waktu konvergensi dihitung dengan:  

$$[(\text{Alokasi Slot Untuk Sensing} \times \text{Waktu sensing}) + (\text{Alokasi Slot Data Tetangga} \times \text{Waktu Transmit})] \times \text{Jumlah Siklus}.$$
- e) Karena semua parameter sudah diketahui kecuali jumlah siklus, maka analisa waktu konvergensi menjadi:  

$$[(2 \times 1) + (18 \times 4,5) \times \text{Jumlah Siklus} = \text{Waktu konvergensi (detik)}.$$
  
 Atau  $83 \text{ detik} \times \text{Jumlah Siklus} = \text{Waktu konvergensi (detik)}.$

Jumlah siklus adalah total iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi. Jumlah siklus didapat dari uji coba simulasi pada 10 kali trial. Pada sesi ini, skenario ke-1 dan ke-2 pada pembahasan sub bab 4.1.1 masih digunakan. Tabel 4.15 menunjukkan hasil dari 10 kali trial pada 2 skenario.

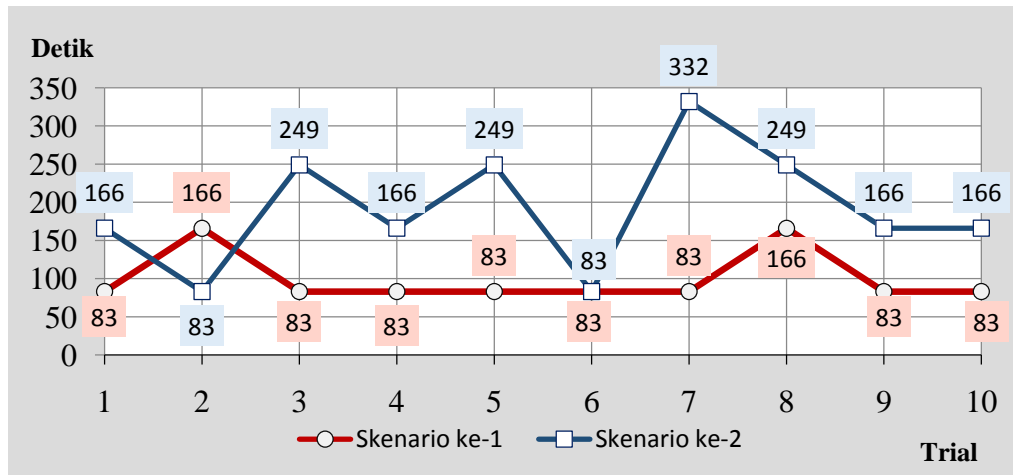


Tabel 4.15 Hasil Analisa Waktu Konvergensi

Trial Ke-	Skenario Ke-1			Skenario Ke-2		
	Jumlah Siklus	Jumlah Siklus X 83 detik	Waktu Konvergensi dalam menit	Jumlah Siklus	Jumlah Siklus X 83 detik	Waktu Konvergensi dalam menit
1	1	83	1 menit 23 detik	2	166	2 menit 46 detik
2	2	166	2 menit 46 detik	1	83	1 menit 23 detik
3	1	83	1 menit 23 detik	3	249	4 menit 9 detik
4	1	83	1 menit 23 detik	2	166	2 menit 46 detik
5	1	83	1 menit 23 detik	3	249	4 menit 9 detik
6	1	83	1 menit 23 detik	1	83	1 menit 23 detik
7	1	83	1 menit 23 detik	4	332	5 menit 32 detik
8	2	166	2 menit 46 detik	3	249	4 menit 9 detik
9	1	83	1 menit 23 detik	2	166	2 menit 46 detik
10	1	83	1 menit 23 detik	2	166	2 menit 46 detik
	Waktu Konvergensi Minimum		1 menit 23 detik	Waktu Konvergensi Minimum		1 menit 23 detik
	Waktu Konvergensi Maksimum		2 menit 46 detik	Waktu Konvergensi Maksimum		5 menit 32 detik
	Rata-rata Waktu Konvergensi		1 menit 40 detik	Rata-rata Waktu Konvergensi		3 menit 50 detik

Dari Tabel 4.15 dapat disimpulkan bahwa pada kedua skenario, perkiraan waktu konvergensi minimum atau tercepat adalah 1 menit 23 detik. Kemudian waktu konvergensi maksimum atau terlama pada skenario ke-1 adalah 2 menit 46 detik sedangkan pada skenario ke-2 mencapai 5 menit 32 detik. Rata-rata waktu konvergensi adalah 1 menit 40 detik untuk skenario ke-1 dan 3 menit 50 detik untuk skenario ke-2. Hasil analisa tentunya sangat dipengaruhi oleh faktor penjadwalan. Dengan hasil yang telah didapat, maka waktu konvergensi dapat diperkirakan dan dibandingkan dengan uji coba langsung pada *node*. Bila hasil

analisa divisualisasikan kedalam bentuk grafik, maka seperti yang terlihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Visualisasi Hasil Analisa Waktu Konvergensi

#### 4.2.3 Waktu Konvergensi Pada Uji Coba Langsung

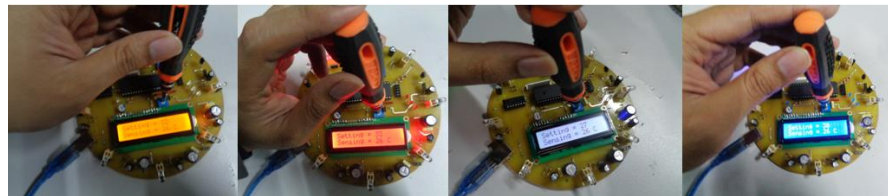
Konvergensi merupakan tujuan akhir dari implementasi algoritma konsensus. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui waktu konvergensi secara *real* pada *node* WSN. Bila pada uji coba sebelumnya waktu konvergensi disimulasikan dan diestimasi dengan mempertimbangkan aspek yang terkait (sub bab 4.2.1 dan 4.2.2), maka pada uji coba ini waktu konvergensi diukur secara langsung untuk dibandingkan hasilnya dengan hasil simulasi. Gambar 4.24 menunjukkan metode pengujian.



Gambar 4.24 Metode Pengujian Waktu Konvergensi

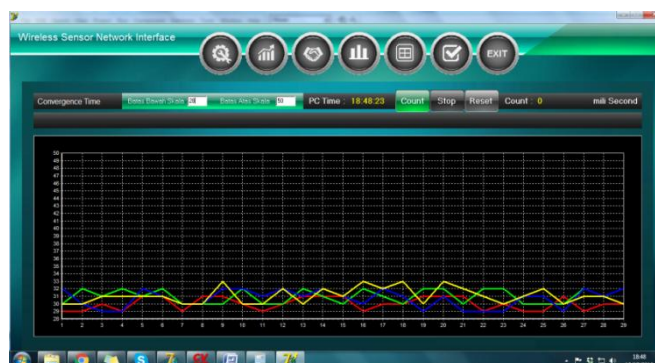
Agar hasil uji coba dapat dibandingkan dengan hasil simulasi, maka skenario ke-1 dan ke-2 pada uji coba sebelumnya tetap digunakan. Berikut adalah detail dari skenario uji coba.

- f) Uji coba dilakukan menggunakan skenario ke-1 dan ke-2. Untuk itu, dilakukan kalibrasi sensor agar di posisi dan waktu yang sama, data suhu dapat disesuaikan seperti skenario ke-1 dan ke-2. Gambar 4.25 menunjukkan proses kalibrasi, dimana pada proses tersebut Vreff ADC disesuaikan hingga 4 unit *node* memiliki data yang berbeda sesuai skenario.



Gambar 4.25 Kalibrasi Vreff ADC Pada 4 Unit *Node*

- g) *Node* yang berfungsi sebagai *Cluster Head* dihubungkan dengan PC/Laptop untuk diamati waktu konvergensinya melalui software interface. Pada software interface pencatatan data dan memunculkan pada grafik dilakukan tiap 2 detik. Sehingga waktu konvergensi dapat dihitung dari waktu pencatatan x 2 detik. Gambar 4.26 menunjukkan *screenshot* dari software interface.



Gambar 4.26 Software Interface Pada Uji Coba Konvergensi

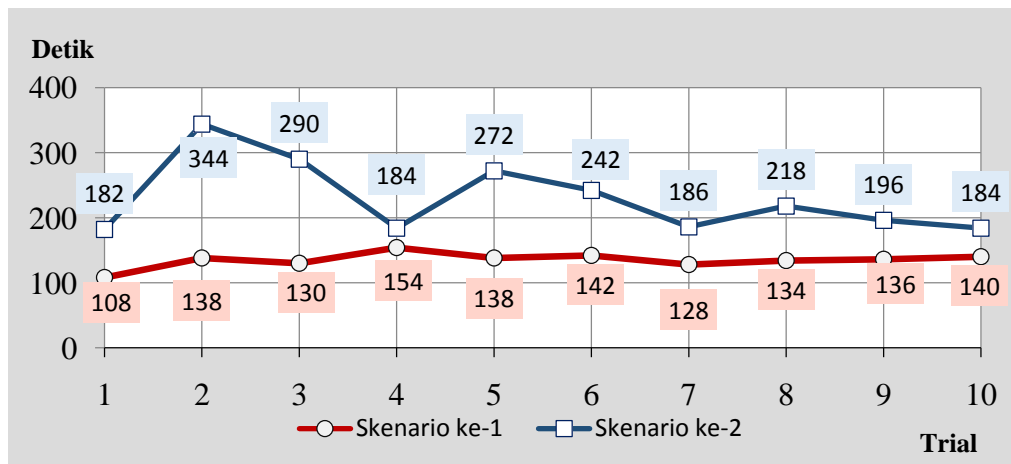
- h) Konfigurasi pembobotan yang digunakan adalah 0,9 dimana 2 slot memory digunakan untuk data sensing dan 18 slot memory digunakan untuk data dari *node* tetangga.

Setelah dilakukan 10 kali trial pada skenario ke-1 dan ke-2, maka hasil dari uji coba waktu konvergensi pada pengujian langsung adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.16. Pada tabel tersebut hanya ada trial, waktu pencatatan (*counter time*) dan waktu konvergensi sementara jumlah siklus yang dibutuhkan *node* untuk konvergensi tidak diketahui karena *node* tidak menyimpan atau bahkan mengirim informasi tersebut.

Tabel 4.16 Waktu Konvergensi Pada Uji Coba Langsung

Trial Ke-	Skenario Ke-1			Skenario Ke-2		
	Counter Time	Counter Time X 2 detik	Waktu Konvergensi (Menit)	Counter Time	Counter Time X 2 detik	Waktu Konvergensi (Menit)
1	67	108	1 menit 48 detik	91	182	3 menit 2 detik
2	69	138	2 menit 18 detik	172	344	5 menit 44 detik
3	65	130	2 menit 10 detik	145	290	4 menit 50 detik
4	77	154	2 menit 34 detik	92	184	3 menit 24 detik
5	69	138	2 menit 18 detik	136	272	4 menit 32 detik
6	71	142	2 menit 22 detik	121	242	4 menit 2 detik
7	64	128	2 menit 8 detik	93	186	3 menit 6 detik
8	67	134	1 menit 48 detik	109	218	3 menit 38 detik
9	68	136	2 menit 16 detik	98	196	3 menit 16 detik
10	70	140	2 menit 20 detik	92	184	3 menit 4 detik
Waktu Konvergensi Minimum			1 menit 48 detik	Waktu Konvergensi Minimum		3 menit 2 detik
Waktu Konvergensi Maksimum			2 menit 34 detik	Waktu Konvergensi Maksimum		5 menit 44 detik
Rata-rata Waktu Konvergensi			2 menit 15 detik	Rata-rata Waktu Konvergensi		3 menit 50 detik

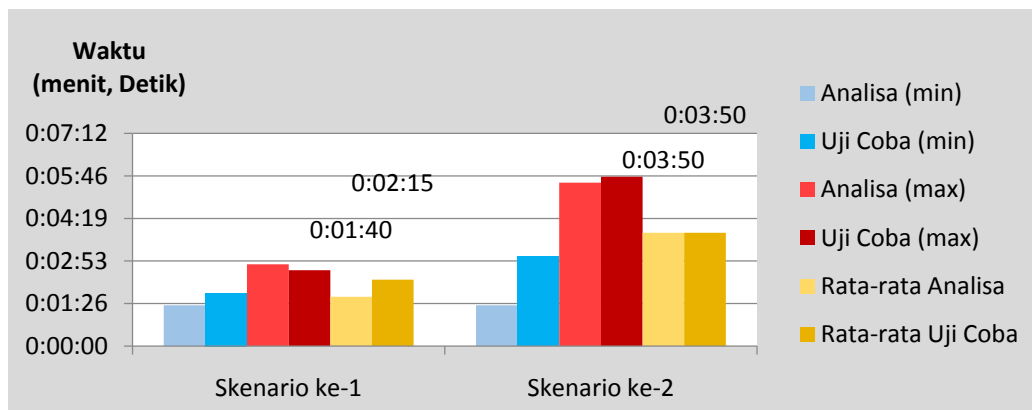
Dari Tabel 4.16 dapat disimpulkan bahwa pada kedua skenario, waktu konvergensi minimum pada uji coba langsung atau tercepat adalah 1 menit 48 detik. Kemudian waktu konvergensi maksimum atau terlama pada skenario ke-1 adalah 2 menit 34 detik sedangkan pada skenario ke-2 mencapai 5 menit 44 detik. Rata-rata waktu konvergensi adalah 2 menit 15 detik untuk skenario ke-1 dan 3 menit 50 detik untuk skenario ke-2. Bila hasil analisa divisualisasikan kedalam bentuk grafik, maka seperti yang terlihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Visualisasi Waktu Konvergensi Pada Uji Coba Langsung

#### 4.2.4 Komparasi Waktu Konvergensi

Pada sesi ini dilakukan komparasi antara hasil analisa waktu konvergensi pada point sub bab 4.2.2 dengan hasil uji coba langsung pada point sub bab 4.2.3. Adapun hasil komparasi waktu konvergensi adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Grafik Komparasi Waktu Konvergensi

Dari Gambar 4.28, bila fokus komparasi ditujukan pada selisih antara hasil rata-rata analisa (Kuning Muda) dengan hasil rata-rata uji coba (Kuning Tua), maka selisih antara keduanya hanya 35 detik. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma konsensus berhasil diimplementasikan pada node WSN. Disisi lain, selisih ini disebabkan oleh perbedaan kemampuan komputasi antara mikrokontroller dengan kemampuan processor PC.

#### **4.2.5 Simulasi Algoritma Penanganan Error Sensing**

Tujuan utama dari algoritma konsensus adalah konvergensi dan keakuratan data. Salah satu faktor pengganggu dalam upaya mencapai konvergensi dan keakuratan adalah error sensing. Seperti pada pembahasan 3.8.2, terjadinya error sensing disebabkan oleh ketidakstabilan sensor. Sehingga pada thesis ini, algoritma konsensus yang diusulkan pada penelitian sebelumnya [9] telah dilakukan penyesuaian untuk mengatasi hal tersebut. Penyesuaian tersebut berbentuk algoritma yang mana pada thesis ini disebut sebagai algoritma penanganan error sensing. Pada pembahasan ini, simulasi dilakukan untuk mengetahui kinerja algoritma dalam menangani error sensing dan pengaruhnya terhadap kestabilan dan akurasi konvergensi. Selain itu, simulasi juga bertujuan untuk menilai kinerja algoritma sebelum diimplementasikan pada node WSN. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Delphi 7. Untuk melakukan simulasi, maka dibutuhkan skenario untuk menggambarkan kemungkinan situasi pada WSN. Berikut adalah skenario dari simulasi tersebut.

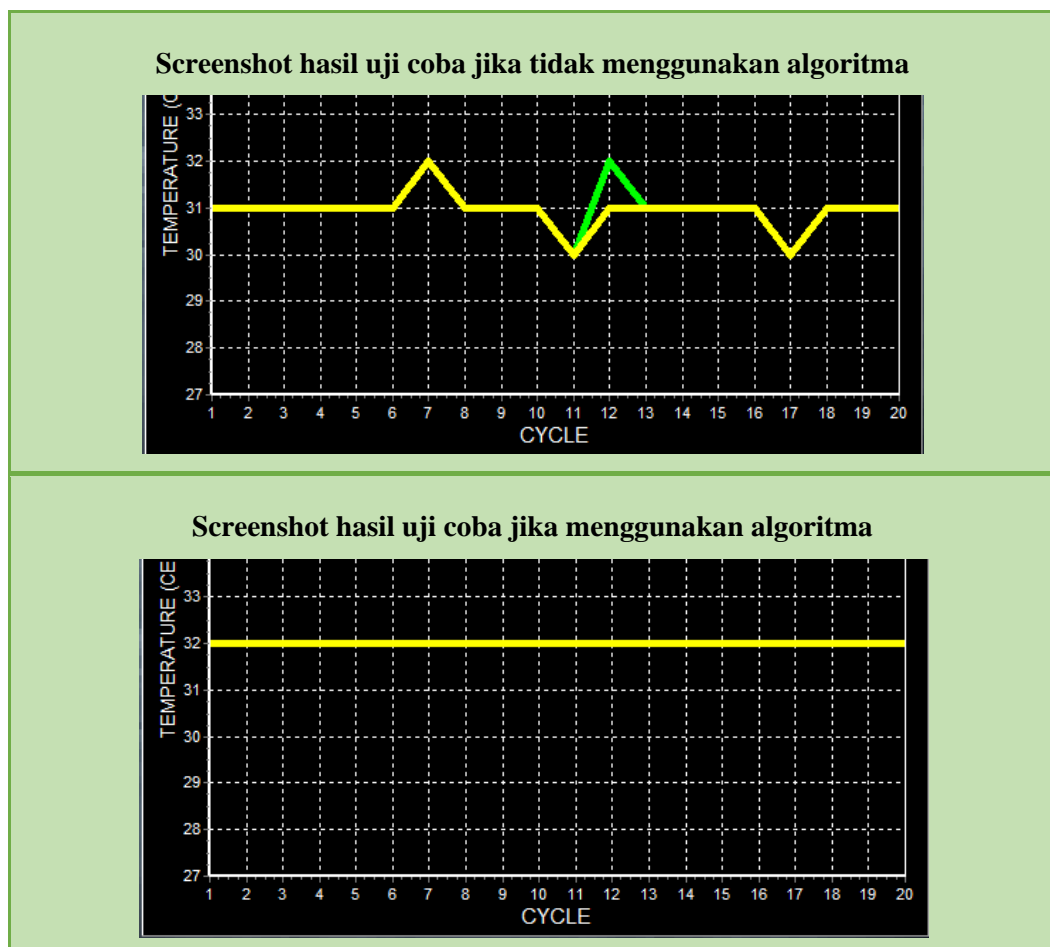
- i) Setting suhu pada Node 1 adalah 31°C, 32°C pada Node 2, 33°C pada Node 3 dan 34°C pada Node 4. Kondisi ini menggambarkan kondisi wajar pada lingkungan outdoor.
- j) Pembobotan pada algoritma konsensus yang digunakan adalah 0,9. Dengan alasan agar konvergensi mudah didapat baik pada saat menggunakan algoritma maupun tidak. Sehingga fokus tujuan simulasi bukan untuk seberapa cepat konvergensi didapat, melainkan perbedaan kestabilan dan akurasi konvergensi.
- k) Untuk mensimulasikan error sensing, maka data sensing pada tiap node disetting agar memiliki probabilitas keakuratan data sebesar 68 %. Adapun

detail dari distribusi probabilitasnya merujuk pada hasil uji coba kestabilan sensor pada gambar 3.16.

- l) Seperti pada pembahasan 3.8.2, algoritma penanganan error sensing akan menggunakan data mayoritas 68% sebagai data yang akan diolah. Sementara bila tanpa menggunakan algoritma, data yang diolah meliputi seluruh data sensing.
- m) Dilakukan perbandingan kestabilan dan akurasi konvergensi pada kondisi dengan atau tanpa menggunakan algoritma. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh error sensing terhadap kestabilan dan akurasi konvergensi.

Setelah dilakukan 20 kali trial maka hasil dari simulasi error sensing adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Simulasi Algoritma Penanganan Error Sensing



Dua buah grafik pada Tabel 4.17 merupakan screenshot dari hasil simulasi dimana sumbu x pada grafik menyatakan jumlah trial atau siklus, sementara sumbu Y menyatakan informasi suhu pada 4 unit Node. Jika grafik menampilkan satu garis, maka hal tersebut menunjukkan terjadinya konvergensi. Dari hasil pada tabel tersebut, maka dapat ditarik suatu analisa dan kesimpulan antara lain sebagai berikut:

- n) Jika tanpa algoritma, konvergensi dapat dicapai namun data suhu hasil konsensus memiliki nilai yang berubah-ubah. Sementara jika menggunakan algoritma, data suhu hasil konsensus memiliki nilai yang stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan algoritma memiliki peran penting dalam kestabilan konvergensi.
- o) Setting suhu 31°C, 32°C, 33°C dan 34°C jika dirata-rata, maka seharusnya hasilnya adalah 32.5°C atau dibulatkan kebawah menjadi 32°C. Dari hasil uji coba, data suhu terkonsensus 32°C didapat dari uji coba pada saat menggunakan algoritma. Sementara pada saat tidak menggunakan algoritma, data suhu terkonsensus adalah 31°C. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma penanganan error sensing berperan besar dalam akurasi data.

#### **4.2.6 Uji Coba Algoritma Penanganan Error Sensing**

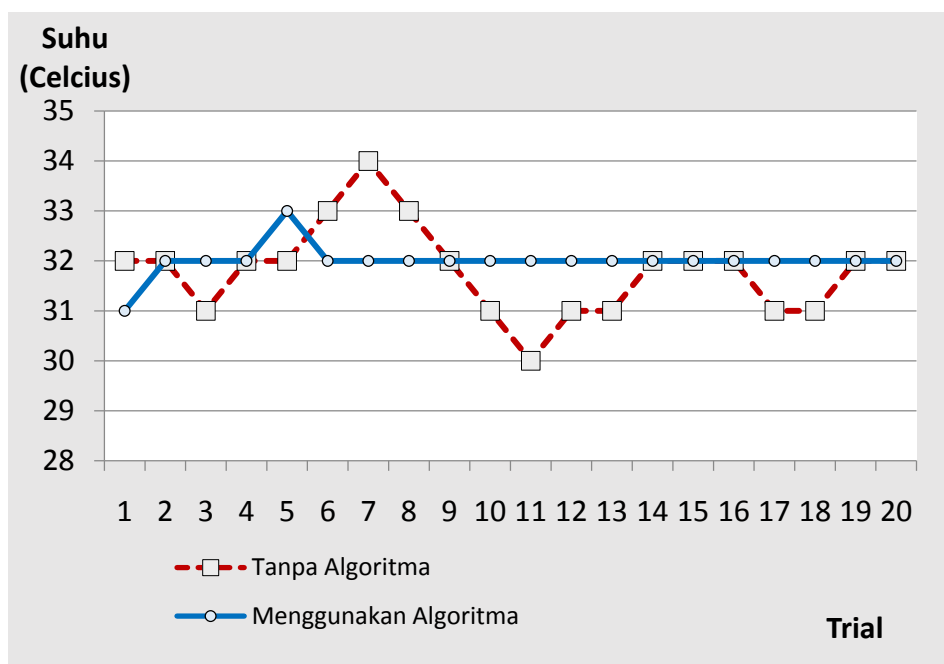
Setelah dilakukan tahap simulasi, proses selanjutnya adalah dilakukan uji coba kinerja algoritma secara langsung. Untuk melakukan uji coba, maka diperlukan skenario antara lain sebagai berikut:

- p) Data suhu dari sensor LM 35 pada 4 unit node WSN dilakukan kalibrasi *V<sub>reff</sub> ADC*. Hal ini bertujuan agar data suhu pada tiap Node sama dengan skenario simulasi (sub bab 4.2.5). Proses kalibrasi *V<sub>reff</sub> ADC* sama dengan pembahasan sebelumnya (sub bab 4.2.3). Lebih spesifik ditunjukkan pada gambar 4.25.
- q) Node yang berfungsi sebagai *Cluster Head* dihubungkan ke PC dan kemudian PC akan mencatat data sensing.



- r) Uji coba dilakukan 2 kali dengan 20 kali trial. Pada uji coba yang pertama, algoritma penanganan error sensing dimasukkan dalam listing program pada node WSN. Sementara pada uji coba yang kedua, algoritma penanganan error sensing tidak dimasukkan dalam listing program.

Setelah dilakukan 2 kali uji coba dimana masing masing dilakukan sebanyak 20 kali trial, maka hasil dari uji coba algoritma secara langsung adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Hasil Uji Coba Penanganan Error Sensing

Dari hasil pada Gambar 4.29, maka dapat ditarik suatu analisa dan kesimpulan antara lain sebagai berikut:

- s) Dari segi kestabilan konvergensi, Hasil uji coba tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Jika tanpa menggunakan algoritma, data suhu hasil konsensus memiliki nilai yang berubah-ubah. Sementara jika menggunakan algoritma, perubahan hasil konvergensi tidak seberapa signifikan dan relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan algoritma membuat konvergensi pada algoritma konsensus menjadi lebih stabil.

- t) Setting suhu 31°C, 32°C, 33°C dan 34°C jika dirata-rata, maka seharusnya hasilnya adalah 32.5°C atau dibulatkan kebawah menjadi 32°C. Maka dari segi keakuratan data, Jika tanpa menggunakan algoritma, sebanyak 10 kali data suhu hasil konsensus berada pada 32°C. Sementara jika menggunakan algoritma, sebanyak 18 kali data suhu hasil konsensus berada pada 32°C. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan algoritma membuat konvergensi pada algoritma konsensus menjadi lebih akurat.

#### **4.2.7 Uji Coba Gangguan Komunikasi**

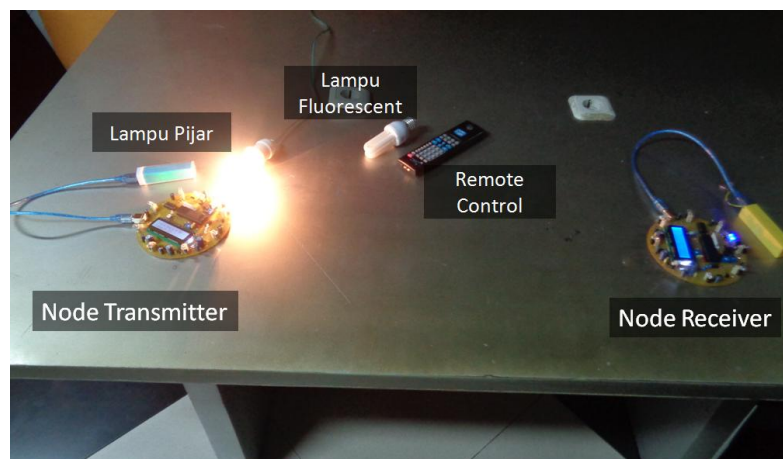
Seperti pembahasan pada Sub Bab 2.3.3, Gangguan komunikasi dapat berpengaruh terhadap tercapainya konvergensi pada algoritma konsensus. Hal ini karena data yang diolah pada algoritma adalah data yang tidak valid akibat noise. Uji coba dilakukan untuk menguji beberapa jenis potensi sumber gangguan ataupun noise dan kemudian dilakukan analisa seberapa besar pengaruhnya terhadap data informasi yang diterima. Karena node WSN didesain untuk lingkungan indoor maupun outdoor, maka pada uji coba ini digunakan beberapa jenis sumber gangguan antara lain:

- Cahaya lampu pijar yang mewakili noise dari cahaya ambient pada lingkungan indoor.
- Cahaya lampu fluorescent yang merupakan cahaya yang bersifat termodulasi dan juga mewakili noise dari cahaya ambient pada lingkungan indoor.
- Cahaya matahari yang mewakili noise dari cahaya ambient pada lingkungan outdoor.
- Cahaya Infrared dari remote control TV/AC yang berpotensi sebagai jammer karena memiliki pancaran cahaya pada panjang gelombang yang sama dengan sistem komunikasi yang dibangun pada tesis ini.
- Halangan obyek yang dapat menghalangi proses transmisi data dari *node transmitter* ke *node receiver*.

Untuk melakukan proses uji coba, maka dibutuhkan skenario antara lain sebagai berikut:

- Uji coba dilakukan dengan meletakkan node *transmitter* dan node *receiver* pada jarak 1 meter. Node *transmitter* mengirim data suhu yang konstan dan bukan berasal dari data sensor pada unit node. Dalam hal ini, data suhu disetting 30°C. Hal ini dilakukan agar hasil pengukuran focus pada pengasmatan aktivitas komunikasi dan bukan berasal dari permasalahan sensing.

Pada pengukuran indoor, untuk mengamati pengaruh noise akibat *Artificial Light Interference*, maka secara bergantian cahaya lampu pijar, lampu fluorescence dan cahaya infrared remote control didekatkan 3 cm dari node *receiver*. Hal ini untuk memastikan bahwa cahaya pengganggu lebih dominan terhadap cahaya infrared dari node *transmitter* yang membawa data informasi. Gambar 4.30 menunjukkan metode uji coba gangguan komunikasi pada lingkungan indoor. Sementara Gambar 4.31 menunjukkan beberapa jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mewakili kondisi pada lingkungan indoor.



Gambar 4.30 Metode Uji Coba Gangguan Komunikasi Pada Indoor



Gambar 4.31 Beberapa Jenis Sumber Cahaya Untuk Proses Uji Coba

- Pada pengukuran outdoor, node *transmitter* dan node *receiver* diletakan pada cahaya terik matahari pada jam 12.00 siang dengan cuaca cerah. Gambar 4.32 menunjukan metode uji coba untuk cahaya matahari.



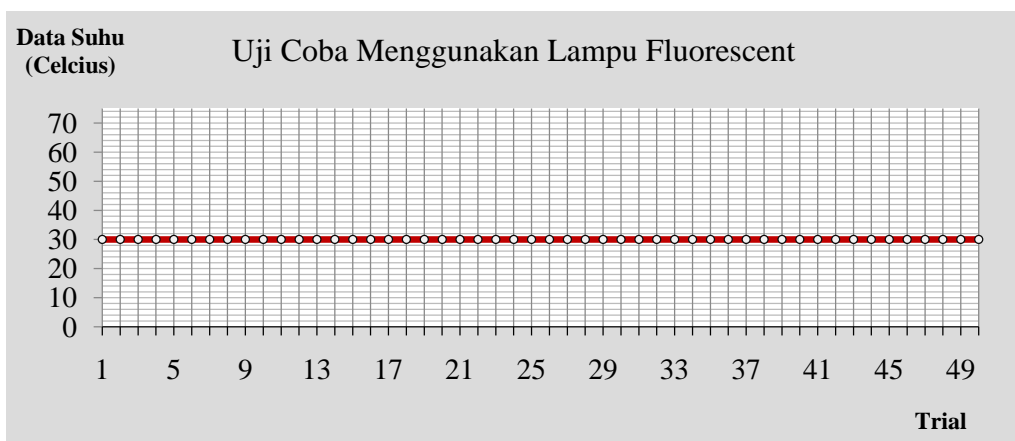
Gambar 4.32 Metode Uji Coba Gangguan Komunikasi Pada Outdoor

- Pengamatan gangguan yang diakibatkan oleh halangan juga dilakukan baik pada ruangan indoor maupun outdoor dan pemberian obyek penghalang dilakukan secara menetap maupun sesaat.
- Jumlah trial pada tiap uji coba adalah 50 kali. Sistem komunikasi dinyatakan terganggu jika data yang dikirim dari *node transmitter* ke *node receiver* berubah dari yang semestinya yaitu 30°C. Sebaliknya, sistem komunikasi dinyatakan bebas gangguan jika data yang dikirim dari *node transmitter* ke *node receiver* adalah 30°C.

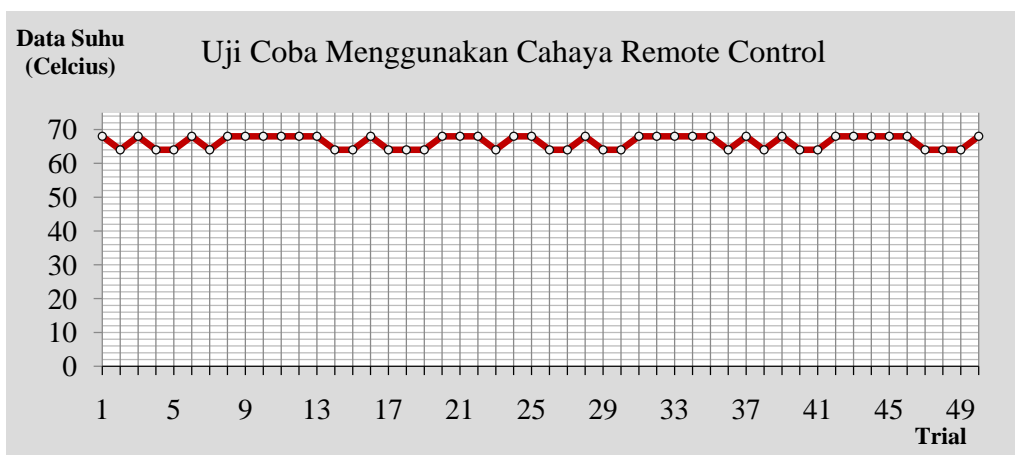
Setelah dilakukan serangkaian uji coba gangguan komunikasi pada berbagai jenis sumber cahaya dan halangan, adapun hasil uji coba disajikan secara grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.32 sampai dengan Gambar 4.37. Pada grafik hasil uji coba, axis horizontal menunjukkan jumlah trial dan axis vertikal menunjukkan data informasi suhu pada node *receiver* setelah mendapat gangguan dari berbagai jenis sumber cahaya dan halangan.



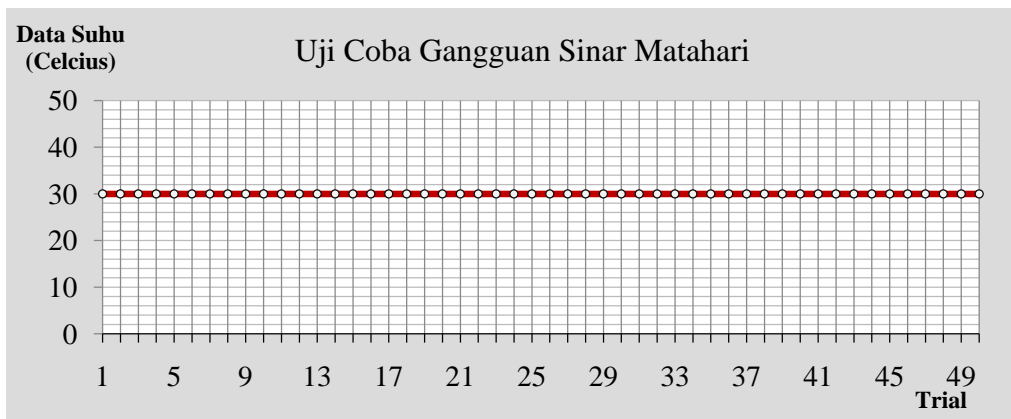
Gambar 4.33 Hasil Uji Coba Menggunakan Cahaya Lampu Pijar



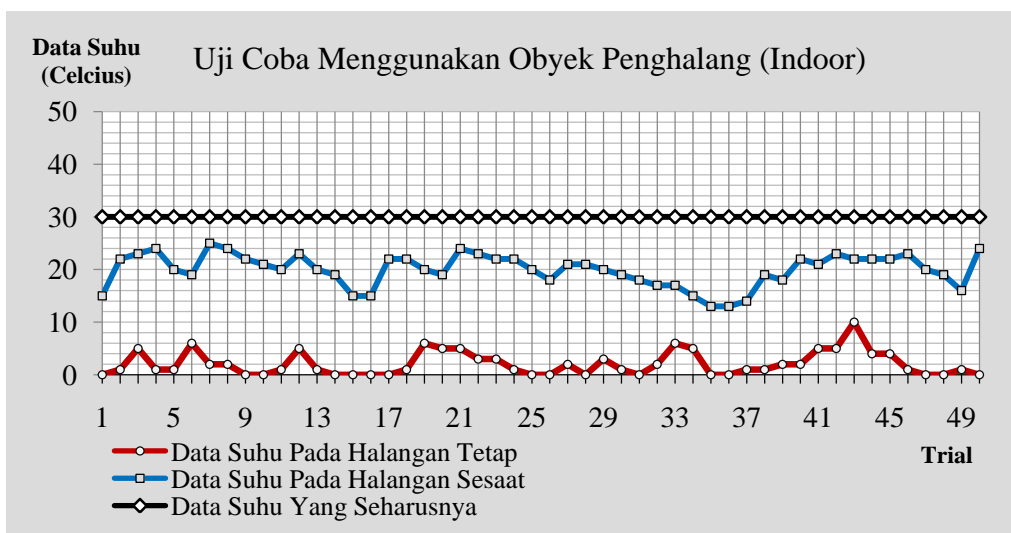
Gambar 4.34 Hasil Uji Coba Menggunakan Cahaya Lampu Fluorescent



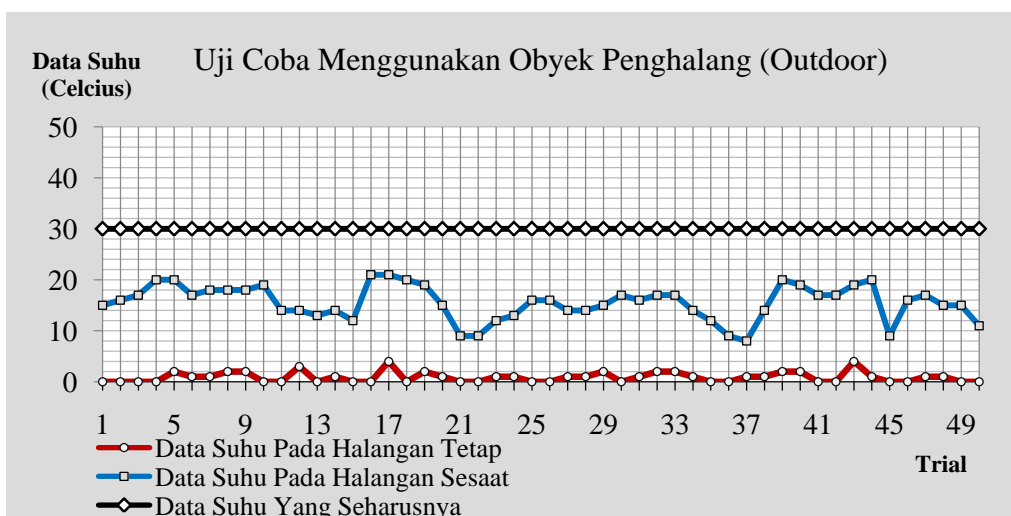
Gambar 4.35 Hasil Uji Coba Menggunakan Cahaya Remote Control



Gambar 4.36 Hasil Uji Coba Dibawah Paparan Sinar Matahari (Outdoor)



Gambar 4.37 Hasil Uji Coba Menggunakan Obyek Penghalang (Indoor)



Gambar 4.38 Hasil Uji Coba Menggunakan Obyek Penghalang (Outdoor)

Dari gambar tersebut didapat kesimpulan bahwa cahaya yang berasal dari lampu pijar, lampu fluoresence dan cahaya matahari tidak berpotensi untuk mengganggu sistem komunikasi. Sementara halangan dan sumber cahaya dari remote TV/AC dapat menyebabkan gangguan dan merubah data informasi. Adapun analisa hasil dari uji coba ini adalah sebagai mana berikut:

- Cahaya remote control TV/AC adalah cahaya yang berpotensi besar untuk menjadi pengganggu. Sistem komunikasi akan terganggu karena cahaya yang dipancarkan oleh remote control memiliki frekuensi carrier dan panjang gelombang yang relatif sama. Data informasi suhu akan naik signifikan dari yang seharusnya karena remote control memancarkan pulsa cahaya. Pulsa cahaya dari remote control akan menambahkan pulsa cahaya yang dipancarkan oleh node *transmitter*. Jika dikaitkan dengan rancangan protokol komunikasi dimana node *receiver* akan menghitung setiap perubahan pulsa (Sub Bab 3.6.5), Maka hal ini mengakibatkan pembacaan data informasi suhu pada sisi penerima (*node receiver*) seolah-olah menjadi meningkat drastis. Hal ini dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.34 menunjukkan data suhu yang terbaca berkisar antara 64°C hingga 68°C.
- Halangan merupakan pengganggu utama pada sistem komunikasi berbasis optik. Jika dikaitkan dengan protokol komunikasi, halangan sesaat maupun konstan dapat menghalangi pulsa cahaya informasi. Hal ini mengakibatkan jumlah pulsa cahaya yang diterima oleh *node receiver* menjadi berkurang. Sehingga pembacaan pada sisi penerima seolah-olah data suhu menjadi menurun drastis. Hal ini dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.36 dan Gambar 4.37 menunjukkan data suhu yang terbaca  $< 25^{\circ}\text{C}$ .
- Data informasi suhu yang cenderung naik maupun menurun umumnya selisih absolutnya lebih dari 5 derajat dibandingkan data suhu yang semestinya. sehingga konstanta tersebut digunakan untuk

setting point pada perancangan algoritma penanganan error komunikasi pada pembahasan Sub Bab 3.9.3.

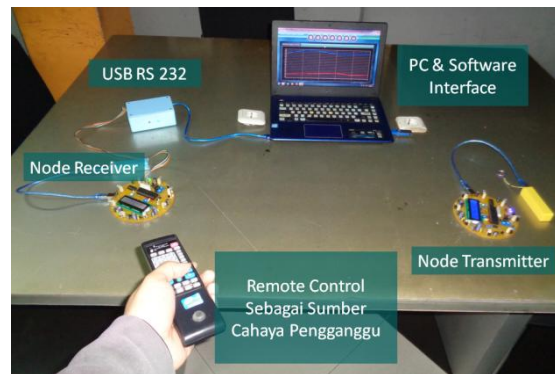
- Pada uji coba gangguan menggunakan cahaya lampu pijar, fluorescent dan cahaya matahari didapat hasil dimana sistem komunikasi tidak terganggu sama sekali. Seperti pembahasan pada Sub Bab 2.3.3, dimana digunakan komponen terintegrasi TSOP 34838 karena dilengkapi dengan optical filter dan Band Pass Filter Internal. Pemilihan komponen ini merupakan upaya pada layer fisik untuk menghindari error komunikasi yang dapat mengganggu konvergensi dan akurasi.

#### 4.2.8 Uji Coba Algoritma Penanganan *Error* Komunikasi

Pada thesis ini, algoritma konsensus juga ditargetkan memiliki kemampuan untuk mengatasi permasalahan error komunikasi. Sehingga pada thesis ini, algoritma konsensus yang diusulkan pada penelitian sebelumnya [9] telah dilakukan penyesuaian. Adapun penyesuaian berbentuk suatu algoritma yang mana pada thesis ini disebut sebagai algoritma penanganan error komunikasi. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari algoritma penanganan error komunikasi yang telah direncanakan pada point sub bab 3.9.3. Untuk melakukan uji coba, maka diperlukan skenario antara lain sebagai berikut:

- u) Dua buah node difungsikan masing-masing sebagai node *transmitter* dan node *receiver*. Node *receiver* dihubungkan ke PC agar data dapat diamati melalui software interface. Data yang dikirimkan oleh node *transmitter* adalah data suhu secara periodik mulai dari 31 °C hingga 34 °C yang merupakan setting point dan bukan hasil data sensing. Kemudian rata-rata data suhu pada memory adalah 31°C. Jika dikaitkan dengan pembahasan pada point sub bab 3.9.3, maka  $A_m = 31^\circ\text{C}$  dan  $N_d$  adalah data yang diterima oleh node *receiver* dimana jika kondisi normal tanpa gangguan adalah sama dengan data yang ditransmisikan oleh node *transmitter*. Gambar 4.39 menunjukkan metode uji coba penanganan *error* komunikasi.





Gambar 4.39 Metode Uji Coba Penanganan Error Komunikasi

- v) Uji coba dilakukan dengan menggunakan software interface. Adapun tampilan dari software interface adalah seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 4.40 Screenshot Tampilan Software Interface.

- w) Pada saat dilakukan uji coba, proses transmit data dari node *transmitter* ke node *receiver* diganggu dengan memberi obyek penghalang dan kemudian diberikan jenis gangguan lain berupa pancaran cahaya remote TV/AC. Hal ini dilakukan agar  $N_d$  menjadi bilangan acak. Adapun alasan menggunakan 2 jenis gangguan ini adalah mengacu pada hasil uji coba pada Sub Bab 4.2.7.
- x) Jumlah trial dibatasi hanya sampai 50 kali proses pengiriman. Jika dikaitkan dengan pembahasan pada point sub bab 3.9.3, maka  $t = 50$ .
- y) Untuk memperlihatkan hasil uji coba, software interface menampilkan dua hasil data yaitu data yang diterima sebelum proses algoritma dan data setelah proses algoritma.

Setelah dilakukan uji coba sebanyak 50 kali trial, adapun hasil dari uji coba kinerja algoritma penanganan error komunikasi adalah ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Uji Coba Algoritma Penanganan Error Komunikasi

Trial Ke-	Data Pada Node Transmitter	Data Yang Diterima Node Receiver		Jenis Gangguan Komunikasi
		Sebelum Proses Algoritma	Sesudah Proses Algoritma	
1	31	31	31	Tidak Ada
2	32	32	32	Tidak Ada
3	33	33	33	Tidak Ada
4	34	34	34	Tidak Ada
5	31	68	34	Remote TV/AC
6	32	31	31	Tidak Ada
7	33	32	32	Tidak Ada
8	34	34	34	Tidak Ada
9	31	30	30	Tidak Ada
10	32	68	30	Remote TV/AC
11	33	32	32	Tidak Ada
12	34	34	34	Tidak Ada
13	31	30	30	Tidak Ada
14	32	31	31	Tidak Ada
15	33	64	31	Remote TV/AC
16	34	34	34	Tidak Ada
17	31	30	30	Tidak Ada
18	32	31	31	Tidak Ada
19	33	32	32	Tidak Ada
20	34	64	32	Remote TV/AC
21	31	31	31	Tidak Ada
22	32	32	32	Tidak Ada
23	33	33	33	Tidak Ada
24	34	34	34	Tidak Ada
25	31	68	34	Remote TV/AC
26	32	32	32	Tidak Ada
27	33	33	33	Tidak Ada
28	34	34	34	Tidak Ada
29	31	31	31	Tidak Ada
30	32	15	31	Obyek Penghalang

Tabel 4.19 Tabel Lanjutan Hasil Uji Coba Algoritma

Trial Ke-	Data Pada Node Transmitter	Data Yang Diterima Node Receiver		Jenis Gangguan Komunikasi
		Tanpa Algoritma	Dengan Algoritma	
31	33	33	33	Tidak Ada
32	34	34	34	Tidak Ada
33	31	31	31	Tidak Ada
34	32	32	32	Tidak Ada
35	33	14	32	Obyek Penghalang
36	34	34	34	Tidak Ada
37	31	31	31	Tidak Ada
38	32	32	32	Tidak Ada
39	33	33	33	Tidak Ada
40	34	21	33	Obyek Penghalang
41	31	31	31	Tidak Ada
42	32	32	32	Tidak Ada
43	33	33	33	Tidak Ada
44	34	34	34	Tidak Ada
45	31	24	34	Obyek Penghalang
46	32	32	32	Tidak Ada
47	33	33	33	Tidak Ada
48	34	34	34	Tidak Ada
49	31	31	31	Tidak Ada
50	32	32	32	Tidak Ada

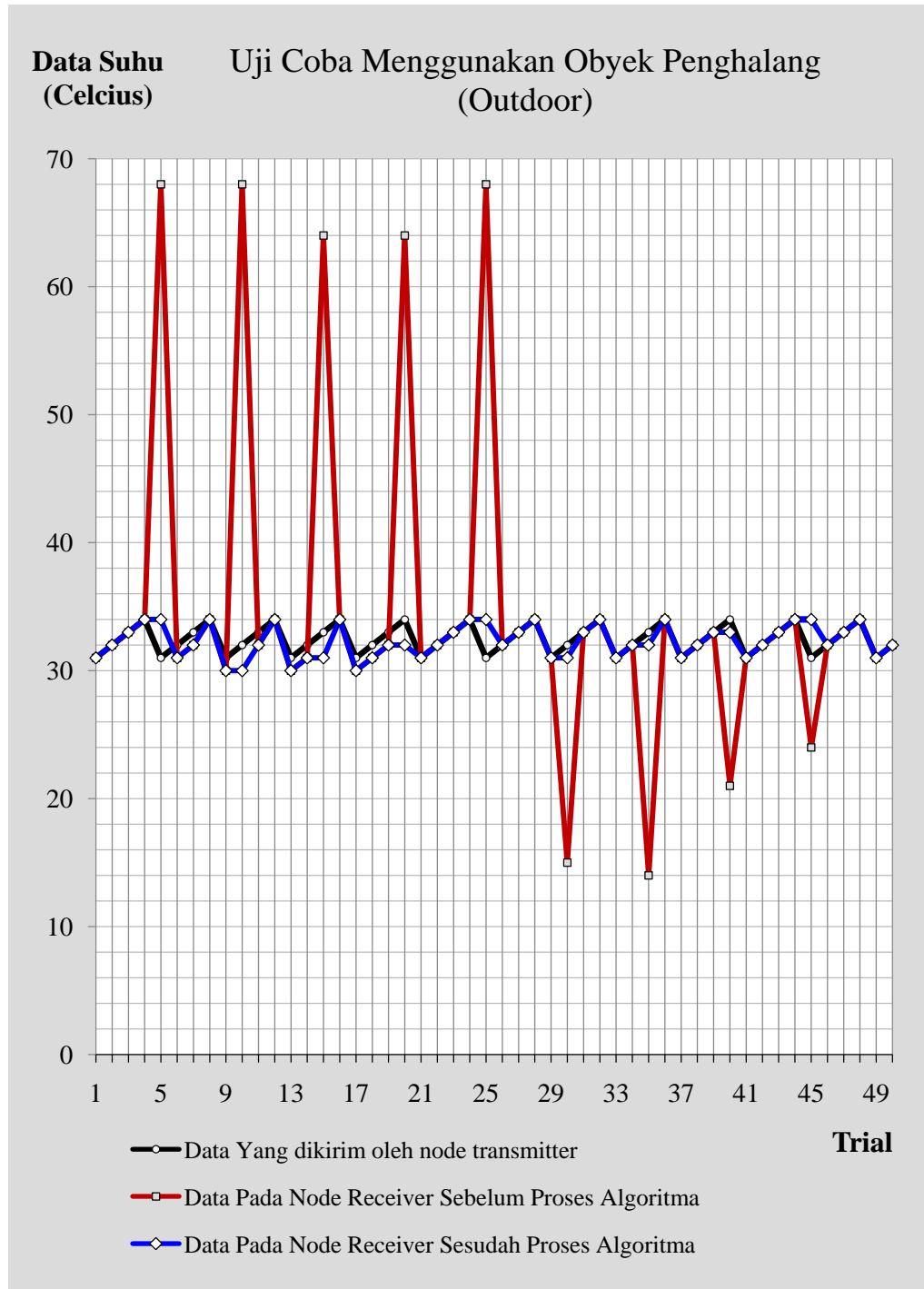
Adapun penjelasan dari Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 antara lain adalah sebagai berikut:

- Pada trial ke 1, node *transmitter* mengirim informasi data suhu 31°C. Maka pada *receiver*, data ini diterima sebagai data pertama dan kemudian disimpan pada slot data. Maka rata-rata data suhu pada slot data saat ini adalah 31°C.
- Pada trial ke 2, node *transmitter* mengirim informasi data suhu 32°C. maka pada *receiver* akan menerima data informasi ini yang mana di inisialisasikan sebagai data sebelum proses algoritma. Kemudian dilakukan proses algoritma penanganan error komunikasi.

Pada saat ini berlaku aturan perhitungan  $[Abs(Am - Nd) = \text{tidak boleh lebih besar dari } 5]$ . Sehingga pada step ini,  $Abs(31 - 32)$  hasilnya kurang dari 5. Karena hasil perhitungan adalah kurang dari 5, maka data yang telah diterima tersebut diakui sebagai data valid dan dimasukkan kedalam slot data. Pada step ini data tersebut diinisialisasikan sebagai data sesudah proses algoritma.

- Pada trial ke 3, node *transmitter* mengirim informasi data suhu 33°C. Pada *receiver* dilakukan proses algoritma penanganan error komunikasi. Pada step ini nilai  $Am = (31+32)/2$  atau dengan kata lain nilai  $Am=31.5$  yang bila dibulatkan kebawah menjadi 31 sedangkan nilai  $Nd = 33$ . Maka berlaku  $Abs(31 - 33)$  dimana hasilnya kurang dari 5. maka data yang telah diterima tersebut diakui sebagai data valid dan dimasukkan kedalam slot data.
- Pada trial ke 4, node *transmitter* mengirim informasi data suhu 34°C. Pada *receiver* dilakukan proses algoritma penanganan error komunikasi. Pada step ini nilai  $Am = (31+32+33)/3$  atau dengan kata lain nilai  $Am=32$  sedangkan nilai  $Nd = 33$ . Maka berlaku  $Abs(32 - 33)$  dimana hasilnya kurang dari 5. maka data yang telah diterima tersebut diakui sebagai data valid dan dimasukkan kedalam slot data.
- Pada trial ke 5, node *transmitter* mengirim informasi data suhu 31°C. Pada trial ke 5, proses transmisi diganggu oleh cahaya yang berasal dari remote control. Sehingga pada *receiver* terdeteksi sebagai 68°C. Pada step ini nilai  $Am = (31+32+33+34)/4$  atau dengan kata lain nilai  $Am=32.5$  yang bila dibulatkan kebawah menjadi 32 sedangkan nilai  $Nd = 68$ . Maka berlaku  $Abs(32 - 68)$  dimana hasilnya lebih dari 5. maka data yang telah diterima tersebut tidak diakui sebagai data valid dan dianggap sebagai data error komunikasi. Sehingga data valid pada step ini adalah data yang sebelumnya yaitu 34°C.
- Proses ini berlaku hingga trial berikutnya dan berlaku pula untuk jenis gangguan halangan seperti pada trial ke 30,35,40 dan 45.

Dari uji coba ini dapat disimpulkan bahwa algoritma penanganan error komunikasi telah berhasil diimplementasikan pada node WSN dan memiliki kinerja yang relatif baik. Gambar 4.41 menunjukkan visualisasi secara grafik dari Tabel 4.18 dan Tabel 4.19.



Gambar 4.41 Hasil Uji Coba Algoritma Penanganan Error Komunikasi

#### 4.2.9 Konvergensi dan Akurasi Pada Lingkungan Indoor

Uji coba ini berkaitan dengan uji coba secara keseluruhan sistem. Pada tesis ini telah dirancang dan dibangun prototype node WSN berbasis komunikasi optik dan dilengkapi algoritma konsensus rata-rata pada inti prosesor agar memiliki kemampuan untuk berkoordinasi dalam upaya mencapai konvergensi dan akurasi antar node. Maka pada sesi ini dilakukan uji coba konvergensi dan akurasi sebagai tujuan akhir dari algoritma konsensus. Untuk melakukan uji coba, maka diperlukan pengaturan pada beberapa hal antara lain sebagai berikut:

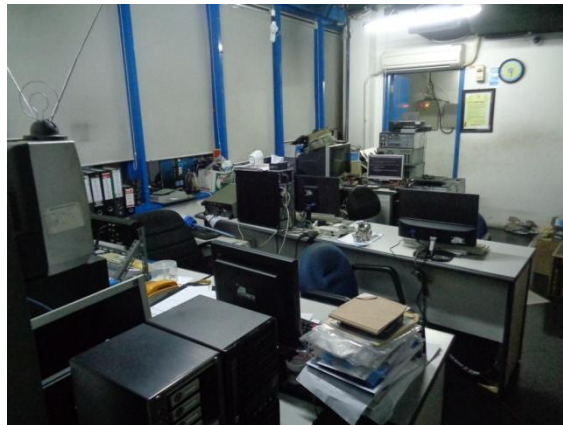
- Digunakan 4 node WSN yang mana masing-masing telah dilengkapi dengan sensor suhu dan kemampuan komunikasi baik transmit maupun receive.
- Dari segi algoritma konsensus, parameter bobot disetting 0.9 dengan alasan kemungkinan konvergensi tercepat dapat diperoleh pada setting tersebut.
- Software interface digunakan untuk monitoring data suhu pada ke-4 sensor. Pencatatan waktu konvergensi dilakukan berdasarkan hasil grafik pada software interface. Selain itu juga dilakukan pengamatan dari segi kestabilan data konvergensi.
- Pada sensor dilakukan kalibrasi dengan termometer standard sebagai acuan. Hal ini dilakukan agar data hasil konsensus dapat dibandingkan dengan termometer standard. Dengan kata lain, hal ini dimaksudkan untuk keperluan pengamatan dari segi akurasi. Pada sesi ini, akurasi dinilai dari rata-rata prosentase kesalahan data suhu hasil konsensus terhadap data suhu dari termometer standard.



Gambar 4.42 Proses Kalibrasi Sensor Dengan Termometer Standard

Selain pengaturan, untuk melakukan uji coba diperlukan skenario antara lain sebagai berikut:

- Setelah 4 unit node selesai dikalibrasi, maka node siap untuk dilakukan uji coba.
- Uji coba dilakukan pada suhu ruangan yang tertutup pada pukul 22.00 malam hari. Adapun lokasi tempat dimana dilakukan uji coba adalah pada ruang IT Gedung JTV lantai 4 Surabaya.



Gambar 4.43 Lokasi Dilakukan Uji Coba

- Awal mula, AC pada ruangan dimatikan dan ditunggu hingga 10 menit. Maka pada step ini pengamatan data suhu dimulai.
- Kemudian AC dihidupkan pada suhu 30°C pada 10 menit pertama kemudian 24°C pada 10 menit berikutnya dan 16°C pada 10 menit setelah itu. Sehingga 1 kali trial membutuhkan waktu pengamatan 30 menit.



Gambar 4.44 Proses Setting Suhu Pada Ruangan

- Pada masing-masing 10 menit uji coba, Jika dimisalkan konvergensi tercapai pada 2 menit, maka disaat yang sama hasilnya akan dibandingkan dengan termometer standard dan sisa 8 menit digunakan untuk pengamatan kestabilan.
- *Node* yang berfungsi sebagai *Cluster Head* dihubugkan dengan PC/ Laptop untuk diamati waktu konvergensinya melalui software interface. Pada software interface pencatatan data dan memunculkan pada grafik dilakukan tiap 2 detik. Sehingga waktu konvergensi dapat dihitung dari (waktu pencatatan x 2 detik).
- Untuk efisiensi waktu, uji coba dibatasi hanya 5 kali trial karena untuk tiap 1 kali trial membutuhkan waktu 30 menit sesuai skenario. Gambar menunjukan aktivitas uji coba konvergensi dan akurasi pada lingkungan indoor.



Gambar 4.45 Uji Coba Konvergensi Dan Akurasi Pada Lingkungan Indoor

Setelah dilakukan pengaturan, skenario dan serangkaian uji coba, adapun hasil dari uji coba adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.20.



Tabel 4.20 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi Dan Akurasi (Indoor)

Trial Ke-	Waktu	Waktu Konvergensi		Data Suhu		
		Detik	Menit	Termometer Standard	Hasil Konsensus	Kesalahan (%)
1	10 Menit Pertama (30 Celcius)	108	1 Menit 48 Detik	31.5	31	1.5
	10 Menit Kedua (24 Celcius)	122	2 Menit 12 Detik	25.2	25	0.7
	10 Menit Ketiga (16 Celcius)	110	1 Menit 50 Detik	18.5	18	2.7
2	10 Menit Pertama (30 Celcius)	122	2 Menit 2 Detik	31.7	32	0.9
	10 Menit Kedua (24 Celcius)	138	2 Menit 18 Detik	26.2	27	3
	10 Menit Ketiga (16 Celcius)	118	1 Menit 58 Detik	17.9	18	0.5
3	10 Menit Pertama (30 Celcius)	142	2 Menit 22 Detik	32.1	31	3.4
	10 Menit Kedua (24 Celcius)	122	2 Menit 12 Detik	25.5	26	1.9
	10 Menit Ketiga (16 Celcius)	108	1 Menit 48 Detik	18.5	18	2.7
4	10 Menit Pertama (30 Celcius)	110	1 Menit 50 Detik	31.3	31	0.9
	10 Menit Kedua (24 Celcius)	116	2 Menit 56 Detik	26	26	0
	10 Menit Ketiga (16 Celcius)	136	2 Menit 16 Detik	17.3	18	4
5	10 Menit Pertama (30 Celcius)	138	2 Menit 18 Detik	31.4	31	1.3
	10 Menit Kedua (24 Celcius)	108	1 Menit 48 Detik	24.9	24	3.6
	10 Menit Ketiga (16 Celcius)	106	2 Menit 46 Detik	17.3	18	4
Rata-rata Waktu Konvergensi		121	2 Menit 1 Detik	Rata-rata prosentase kesalahan (%)		2.1

Dari Tabel 4.20 maka didapatkan kesimpulan dimana rata-rata waktu konvergensi adalah 2 menit 1 detik dengan prosentase kesalahan 2.1% Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil analisa simulasi dan uji coba langsung pada 4.2.3 dimana waktu konvergensi adalah 2 menit 15 detik khususnya pada skenario 1.

Merujuk pada Tabel 4.20, waktu konvergensi membutuhkan waktu tidak lebih dari 3 menit. Untuk itu, sisa waktu 7 menit (menit ke 4 hingga ke 10) digunakan sebagai uji coba kestabilan. Kestabilan data konvergensi diamati tiap menit. Sedangkan hasil yang di peroleh dari uji coba ini adalah prosentase kestabilan. Adapun hasil dari pengamatan kestabilan konvergensi seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Uji Coba Pengamatan Kestabilan Konvergensi (Indoor)

Trial Ke-	Waktu	Data Suhu Pada menit ke-							Kestabilan (%)
		4	5	6	7	8	9	10	
1	10 Menit Pertama (30 °C)	31	31	31	31	31	31	31	100
	10 Menit Kedua (24 °C)	25	25	24	25	25	25	25	85
	10 Menit Ketiga (16 °C)	18	17	17	18	18	18	18	71
2	10 Menit Pertama (30 °C)	32	32	32	31	32	32	32	85
	10 Menit Kedua (24 °C)	27	26	27	27	27	27	27	85
	10 Menit Ketiga (16 °C)	18	18	19	18	18	18	18	85
3	10 Menit Pertama (30 °C)	31	30	31	31	30	31	31	71
	10 Menit Kedua (24 °C)	26	26	26	26	26	26	26	100
	10 Menit Ketiga (16 °C)	18	18	18	17	18	18	18	85
4	10 Menit Pertama (30 °C)	31	31	30	31	31	31	31	85
	10 Menit Kedua (24 °C)	26	26	26	25	26	26	26	85
	10 Menit Ketiga (16 °C)	18	18	18	18	18	18	18	100
5	10 Menit Pertama (30 °C)	31	31	31	31	31	30	31	85
	10 Menit Kedua (24 °C)	24	24	24	24	24	24	24	100
	10 Menit Ketiga (16 °C)	18	18	18	18	18	18	18	100

Prosentase kestabilan dihitung dari (data suhu mayoritas berbanding data suhu keseluruhan x 100 %). Misal pada trial ke 1 dan pada 10 menit kedua, Sebanyak 6 kali data suhu dinyatakan mencapai 25°C sementara 1 kali dinyatakan 24°C. Jika data suhu keseluruhan berjumlah 7, Maka prosentase kestabilan adalah  $6/7 \times 100 \% = 85 \%$ . Dari Tabel 4.21 maka didapatkan kesimpulan bahwa prosentase kestabilan berkisar antara 71 % hingga 100 %.

#### 4.2.10 Konvergensi dan Akurasi Pada Lingkungan Outdoor

Uji coba konvergensi dan akurasi juga dilakukan pada lingkungan outdoor. Adapun tujuan dari uji coba ini adalah untuk mengetahui kinerja sistem komunikasi dan algoritma konsensus secara keseluruhan pada lingkungan yang sebenarnya. Adapun pengaturan pada proses uji coba sama dengan uji coba pada indoor (Sub Bab 4.2.9). Gambar menunjukkan proses uji coba konvergensi dan akurasi pada lingkungan outdoor.



Gambar 4.46 Uji Coba Konvergensi Dan Akurasi Pada Lingkungan Outdoor

Kemudian untuk melakukan uji coba diperlukan skenario antara lain sebagai berikut:

- Uji coba dilakukan pada pagi hari pukul 06.00 kemudian siang hari pukul 12.00 dan sore hari pukul 16.00 dengan cuaca relatif berawan.
- Pengamatan dilakukan tiap 20 menit dengan asumsi perubahan suhu pada outdoor relatif lebih lambat sehingga membutuhkan waktu pengamatan yang lama.

- Pengaturan pada uji coba lingkungan indoor (Sub Bab 4.2.9) juga diberlakukan untuk uji coba sesi ini.

Setelah dilakukan pengaturan, skenario dan serangkaian uji coba, adapun hasil dari uji coba adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil Uji Coba Pengukuran Konvergensi Dan Akurasi (Outdoor)

Waktu	Durasi Waktu	Waktu Konvergensi		Data Suhu		
		Detik	Menit	Termometer Standard	Hasil Konsensus	Kesalahan (%)
<b>06:00 AM</b>	06:00-06:20	68	1 Menit 8 Detik	27.2	26	4.4
	06:20-06:40	108	1 Menit 48 Detik	27.6	27	2.1
	06:40-07:00	74	1 Menit 14 Detik	28.1	28	0.3
<b>12:00 PM</b>	12:00-12:20	78	1 Menit 18 Detik	34.8	35	0.5
	12:20-12:40	110	1 Menit 50 Detik	36.6	37	1
	12:40-12:00	118	1 Menit 58 Detik	36.9	38	2.9
<b>15:00 PM</b>	15:00-15:20	102	1 Menit 42 Detik	33.7	33	2
	15:20-15:40	96	1 Menit 36 Detik	33.5	32	4.4
	15:40-15:00	74	1 Menit 14 Detik	32.9	32	2.7
<b>Rata-rata Waktu Konvergensi</b>		92	1 Menit 32 Detik	Rata-rata prosentase kesalahan (%)		2.2

Dari Tabel 4.22 maka didapatkan kesimpulan antara lain sebagai mana berikut. Rata-rata waktu konvergensi adalah 1 menit 32 detik. Dengan rata-rata kesalahan akurasi sebesar 2.2%. Dengan hasil ini, waktu konvergensi pada uji coba lingkungan outdoor lebih cepat dari indoor karena perubahan suhu pada outdoor jika pada cuaca yang berawan relatif lambat dari perubahan suhu pada lingkungan indoor yang dapat diubah dengan menggunakan pendingin ruangan AC.

Dari hasil uji coba 4.2.9 dan 4.2.10, maka didapat kesimpulan bahwa kecepatan konvergensi tidak hanya dipengaruhi oleh perbedaan data suhu antar sensor, tetapi dapat juga dipengaruhi oleh kecepatan perubahan suhu lingkungan. Semakin cepat perubahan parameter fisik suatu lingkungan, maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi sebaliknya jika semakin lambat, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi semakin cepat.

Merujuk pada Tabel 4.22, waktu konvergensi membutuhkan waktu tidak lebih dari 2 menit sementara durasi uji coba adalah 20 menit. Maka terdapat 18 menit waktu berjalan. Untuk itu pengamatan kestabilan konvergensi diamati tiap 2 menit yaitu pada menit ke 2,4,6,8,10,12,14,16,18 hingga ke 20. Adapun hasil dari pengamatan kestabilan konvergensi seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.23 dimana pada tabel tersebut, didapatkan kesimpulan bahwa prosentase kestabilan berkisar antara 80 % hingga 100 %.

Tabel 4.23 Hasil Uji Coba Pengamatan Kestabilan Konvergensi (Outdoor)

Waktu	Durasi Waktu	Menit Ke-										Kestabilan (%)
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
06:00 AM	06:00-06:20	26	26	27	26	26	26	27	26	26	26	80
	06:20-06:40	27	27	27	28	27	27	27	27	27	27	90
	06:40-07:00	28	28	29	28	28	28	28	28	28	28	90
12:00 PM	12:00-12:20	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	100
	12:20-12:40	37	36	37	37	37	36	37	37	37	37	80
	12:40-12:00	38	38	37	38	38	38	38	38	38	38	90
15:00 PM	15:00-15:20	33	34	33	33	33	33	33	33	32	33	80
	15:20-15:40	32	32	32	32	33	32	32	32	32	32	90
	15:40-15:00	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	100

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Setelah dilakukan perancangan dan uji coba, baik dari segi perancangan *node* maupun algoritma terdistribusi konsensus rata-rata, maka pada bab ini akan diuraikan beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan sebelumnya. Pada bab ini juga akan diuraikan beberapa saran mengenai permasalahan yang dapat dibahas sebagai kelanjutan dari penelitian.

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Pada tesis ini, proses perancangan node WSN dengan komunikasi berbasis FSO Infrared berhasil dilakukan. Hal ini dibuktikan dengan berfungsinya kemampuan dasar node mulai dari kemampuan komunikasi, penjadwalan, sensing dan lain lain. Hal ini dikuatkan dengan hasil uji coba antara lain sebagai berikut:
  - a) Pada pengukuran *indoor*, jarak jangkauan ideal antar *node* adalah 15 meter dimana prosentase bit error mencapai 0 %. Namun bila melihat dari kemampuan maksimum, maka jarak jangkauan terjauh adalah 24 meter dengan prosentase bit error dari 0.2 hingga 48.6 %.
  - b) Pada lingkungan *outdoor*, jarak jangkauan ideal antar *node* adalah 15 meter dimana prosentase bit error mencapai 0 %. Jarak dan hasil ini tidak ada perbedaan dengan pengukuran pada lingkungan *indoor*. Kemudian bila melihat dari kemampuan maksimum, maka jarak jangkauan terjauh adalah 23 meter dengan prosentase bit error dari 0.2 hingga 90.2 %.
  - c) Tidak ada perbedaan signifikan antara pengukuran pada lingkungan indoor dengan outdoor. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja TSOP 34838 sebagai komponen utama pada penerima memiliki kinerja yang cukup stabil khususnya pada jarak 1 hingga 15 meter.

- d) Jika jarak pancar ideal antar *node* sesuai uji coba secara langsung adalah 15 meter (point pembahasan 4.1.1, 4.1.2 dan 4.1.3), dan jarak pancar maksimum secara teoritis sesuai perencanaan Link Budget adalah 20 meter, maka dapat disimpulkan kinerja TSOP 34838 pada kenyataannya adalah 75% dari spesifikasi teknis pada datasheet komponen.
- e) Pantulan cahaya menyebabkan kedatangan informasi menjadi bervariasi sehingga menyebabkan pergeseran bit informasi.
- f) Jika pada datasheet komponen, durasi dari  $T_b$  yang direkomendasikan untuk performansi maksimum adalah  $600\ \mu\text{S}$ . namun setelah dilakukan pengukuran,  $T_b$  ideal berada pada kisaran 600 hingga  $900\ \mu\text{S}$ .
- g) Bit rate maksimum yang dapat dipancarkan oleh rancangan sistem komunikasi adalah sebesar 1.66 Kbps pada  $T_b\ 600\ \mu\text{S}$  dan 1.1 Kbps pada  $T_b\ 900\ \mu\text{S}$ .
- h) Pada uji coba penjadwalan TDMA, bahwa rata-rata kesalahan pada time slot lebih kecil dari jeda antar slot. Pada time slot, rata-rata kesalahan mulai dari 0.06 detik hingga 0.12 detik. Sedangkan jeda antar slot relatif lebih besar yaitu pada kisaran 0.27 hingga 0.35 detik. Hal ini disebabkan oleh respon *node* terhadap transisi perpindahan slot.
- i) Secara umum hasil uji coba pada penjadwalan TDMA dan CSMA, *node* dapat bekerja sesuai skenario penjadwalan.



2. Algoritma konsensus rata-rata berhasil diimplementasikan pada desain node WSN. Hal ini dibuktikan dari beberapa kesimpulan dari hasil uji coba antara lain sebagai berikut:
- a) Uji coba simulasi algoritma konsensus menunjukkan hasil bahwa semakin besar perbedaan data pada tiap *node*, maka semakin sulit menemukan konvergensi. Kemudian semakin banyak memory yang dialokasikan untuk data dari *node* tetangga, maka konvergensi akan semakin mudah dan cepat tercapai.
  - b) Pada analisa perkiraan waktu konvergensi, rata-rata waktu konvergensi adalah 1 menit 40 detik untuk skenario ke-1 dan 3 menit 50 detik untuk skenario ke-2. Sedangkan pada uji coba langsung, rata-rata waktu konvergensi adalah 2 menit 15 detik untuk skenario ke-1 dan 3 menit 50 detik untuk skenario ke-2.
  - c) Pada skenario ke-1, selisih antara hasil rata-rata waktu konvergensi berdasarkan analisa dengan rata-rata waktu konvergensi berdasarkan uji coba hanya 35 detik. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma konsensus berhasil diimplementasikan pada node WSN. Disisi lain, selisih ini disebabkan oleh perbedaan kemampuan komputasi antara mikrokontroller dengan kemampuan processor PC.
  - d) Pada uji coba konvergensi dan akurasi pada lingkungan indoor, rata-rata waktu konvergensi adalah 2 menit 1 detik. Dengan rata-rata prosentase kesalahan mencapai 2.1%. Prosentase kestabilan konvergensi berkisar antara 71 % hingga 100 %. Dari segi waktu konvergensi, hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil analisa simulasi dan uji coba langsung pada 4.2.3 dimana waktu konvergensi adalah 2 menit 15 detik khususnya pada skenario 1.
  - e) Pada uji coba konvergensi dan akurasi pada lingkungan outdoor, rata-rata waktu konvergensi adalah 1 menit 32 detik. Dengan rata-rata prosentase kesalahan mencapai 2.2%. Prosentase kestabilan

konvergensi berkisar antara 80 % hingga 100 %. Dengan hasil ini, waktu konvergensi pada uji coba lingkungan outdoor lebih cepat dari indoor karena perubahan suhu pada outdoor jika pada cuaca yang berawan relatif lambat dari perubahan suhu pada lingkungan indoor yang mana perubahan suhu dapat diubah secara cepat dengan menggunakan pendingin ruangan AC.

- f) Semakin cepat perubahan parameter fisik suatu lingkungan, maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi sebaliknya jika semakin lambat, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi semakin cepat.
3. Pada tesis ini, algoritma konsensus rata-rata berhasil dilakukan penyesuaian agar dapat digunakan untuk menangani ketidakstabilan dari karakter sensor dan gangguan pada komunikasi. Hal ini dibuktikan dari beberapa kesimpulan dari hasil uji coba antara lain sebagai berikut:
- a) Uji coba simulasi algoritma menunjukkan hasil bahwa penggunaan algoritma penanganan error sensing memiliki peran penting dalam kestabilan konvergensi dan akurasi.
  - b) Pada uji coba algoritma penanganan error sensing, dari segi kestabilan konvergensi, Hasil uji coba tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Jika tanpa menggunakan algoritma, data suhu hasil konsensus memiliki nilai yang berubah-ubah. Sementara jika menggunakan algoritma, perubahan hasil konvergensi tidak seberapa signifikan dan relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan algoritma membuat konvergensi pada algoritma konsensus menjadi lebih stabil. Pada uji coba ini juga menunjukkan bahwa penggunaan algoritma membuat konvergensi pada algoritma konsensus menjadi lebih akurat.
  - c) Pada uji coba gangguan komunikasi, Jika terkena gangguan data informasi suhu yang cenderung naik maupun menurun, umumnya

selisih absolutnya lebih dari 5 derajat dibandingkan data suhu yang semestinya. sehingga konstanta tersebut digunakan untuk setting point pada perancangan algoritma penanganan error komunikasi pada pembahasan Sub Bab 3.9.3.

- d) Pada uji coba algoritma gangguan komunikasi, setting point yang telah didapat pada uji coba gangguan komunikasi (Sub Bab 4.2.6) diterapkan pada algoritma penanganan error komunikasi dan diuji kinerjanya (Sub Bab 4.2.7). Hasil uji coba ini menunjukkan kinerja yang baik dimana data suhu yang selisihnya jauh dari rata-rata data pada slot data akan dibuang dan tidak disimpan. Sehingga algoritma consensus bebas dari data error akibat gangguan pada komunikasi

## 5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan jarak jangkauan antar *node*, perlu untuk dilakukan uji performansi pada beberapa jenis devais infrared *receiver*.
2. Infrared *receiver* perlu dibangun dari komponen diskrit agar frekuensi kerja, panjang gelombang, protokol, time bit, modulasi dan bit rate dapat direncanakan sesuai kebutuhan.
3. Algoritma untuk MAC Layer menuntut kemampuan multitasking pada processor. Pada desain sistem selanjutnya perlu untuk disediakan processor terpisah khusus untuk menangani penjadwalan dan proses transmit.
4. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pengujian konsumsi energi untuk dilakukan perbandingan dengan node WSN yang menggunakan media komunikasi RF.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I.F. Akyldiz, Y. Sankarasubramaniam, dan Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey”, *Elsevier Science B.V.*, pp. 395-398, December 2001.
- [2] I.F. Akyldiz, Y. Sankarasubramaniam, dan Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey”, *Computer Network*, Vol.38, pp. 393-422, March 2002.
- [3] S. Sivathanan, D.C O’Brien., “RF/FSO Wireless Sensor Networks: A performance study”, *IEEE GLOBECOM*, 2008.
- [4] S. Sivathanan, “RF/FSO and LEACH Wireless Sensor Networks: A case study comparing network performance”, *IEEE Wireless And Optical Communication Network*”, 2009.
- [5] James Mathews, Matthew Barnes and D. K. Arvind., “Low Power Free Space Optical Communication in Wireless Sensor Networks”, *2009 12th Euromicro Conference on Digital System Design / Architectures, Methods and Tools*”, 2009.
- [6] D. Anguita., D. Brizzolara and G. Parodi., “Optical Wireless Communication for Underwater Wireless Sensor Networks: Hardware Modules and Circuits Design and Implementation”, *IEEE Conference Publication on OCEANS*”, 2010.
- [7] L. Ghelardoni., A. Gio and D. Anguita., “Smart Underwater Wireless Sensor Networks”, *IEEE 27 th Convention of Electrical and Electronics Engineer in Israel IEEEI*”, 2012.
- [8] J.Fadlullah., and M. Kavehrad., “Indoor High-Bandwidth Optical Wireless Links for Sensor Networks”, *IEEE Conference JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol.28, No 21, October 2012.
- [9] B.N. Oreshkin, M.J. Coates, and M.G. Rabbat, “Optimization and Analysis of Distributed Averaging With Short Node Memory”, *IEEE TRANSACTION ON SIGNAL PROCESSING*, Vol.58, No.5, May 2010.

- [10] W. Dargie, and C. Poellabauer, "Fundamental Of Wireless Sensor Networks Theory And Practice", *Willey Series On Wireless Communication And Mobile Computing*, Vol.1, No.7, May 2010.
- [11] A. Tahmasi, H. Hematkhah and Y. Kavian, "Visible Light Communication Based Optical Link for Data Transmission in Wireless Sensor Networks", *IEEE International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP)*, July 2016.
- [12] C. Detweiller, I. Vasilescu and D. Rus, "An Underwater Sensor Network with Dual Communications, Sensing, and Mobility ", *OCEANS*, June 2007.
- [13] I. Rhee, A. Warriar, M. Aia, J. Min and L. Sichitiu, "ZMAC: A Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking* , Vol. 16, Issue 3, June 2008.
- [14] S. Zhuo, Z. Wang, Y. Song, Zh Wang and L. Almeida, "A Traffic Adaptive Multi-Channel MAC Protocol with Dynamic Slot Allocation for WSNs", *IEEE Transaction on Mobile Computing*, Vol. 15, Issue 7, July 2016.
- [15] B. Sklar, "Digital Communications Fundamental And Application", *Prentice Hall*, New Jersey, USA, Second Edition, No.665, May 1987.
- [16] A. Khalighi and M. Uysal, "Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective", *IEEE Communications Surveys and Tutorial*, vol.16, issue.4, June.2014.
- [17] Z. Ghassemloooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, "Optical Wireless Communication, System And Chanel Modelling With MATLAB", *CRC Press Taylor & Francis Group*, Chapt.4, no.162, 2013.
- [18] O Bouchet, M El Tabach, M Wolf, D C O'Brien, G E Faulkner, J W Walewski, S Randel et al , "Hybrid wireless optics (HWO): Building the next-generation home network, 6th International

Symposium on Communication Systems,” *Networks and Digital Signal Processing*, CNSDSP, Graz, Austria, pp 283–287, 2008.

- [19] M.A Naboulsi., H Sizun and F.d. Fornel, “Wavelength selection for the free space optical telecommunication technology,” *SPIE*, 5465, 168–179, 2004.
- [20] J.K. Kim and E.F. Schubert, “Transcending the replacement paradigm of solid-state lighting”, *Optics Express*, 21835–21842, 2008.
- [21] H. Nguyen and Ed. Shwedyk, “First Course In Digital Communication”, *Cambridge*, ppv264, 2009
- [22] Tri t. Ha, “Theory And Design Of Digital Communication System”, *Cambridge University Press*, Chapt.6, page.236, 2011.
- [23] A.G. Alkholidi and K.S. Altowij ,“ Free Space Optical Communication – Practice and theory ”, *INTECH*, Chap 5, p 28, June 2014.
- [24] O. Sluicak, T. Hilaire and M. Rupp, “ A General Formalism for the Analysis of Distributed Algorithm ”, *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, March 2010.
- [25] J. Kenyeres, M. Kenyeres, M. Rupp and P. Farkas, “ WSN Implementation of the Average Consensus Algorithm ”, *IEEE International Conference 11th European Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)* , April 2011.
- [26] C. Chen, S.Zhu, X.Guan, and X.Shen, “Wireless Sensor Networks Distributed Consensus Estimation”, *Springer Briefs In Computer Science*, Vol.1, No 1., 2014.
- [27] Xiao and S. Boyd, “Fast linear iterations for distributed averaging”, *Syst. Control Lett*, vol.53, no.1, pp. 65–78, Sep.2004.
- [28] K. Avrachenkov, M. El Chamie, and G. Neglia “A local average consensus algorithm for wireless sensor networks,” *IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor*

*Systems and Workshops (DCOSS'11)*, Barcelona, Spain, , pp. 1–6, June 2011.

- [29] J. M. Hendrickx, R. M. Jungers, A. Olshevsky, and G. Vankeerberghen “ Graph diameter, eigenvalues, and minimum-time consensus ”, *Automatica*, vol. 50, no. 2, pp. 635–640, 2014.
- [30] A. Priolo, A. Gasparri, E. Montijano, and C. Sagues “A distributed algorithm for average consensus on strongly connected weighted digraphs ”, *Automatica*, vol. 50, no. 3, pp. 946–951, 2014.
- [31] R. Rajagopal and M. J. Wainwright, “Network-based consensus averaging with general noisy channels”, *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 59, no. 1, pp. 373–385, 2011.
- [32] S. Kar and J. M. Moura, “Distributed consensus algorithms in sensor networks with imperfect communication: Link failures and channel noise,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 57, no. 1, pp. 355–369, 2009.
- [33] C. Yang, J. Qin, J. Hou and S. Chen, “Performance Analysis of a MIMO Indoor Infrared Communication System under Ambient Light Noise,” *Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPRO)*, 2012.
- [34] K.K. Wong, T. Farrell, M. Kiatweerasakul, “Infrared Wireless Communication Using Spread Spectrum Techniques,” *IEEE Proceedings on Optoelectronics*, 2000.



## LAMPIRAN

## 6.1 Sensor Suhu LM 35 DZ

Perangkat WSN umumnya dilengkapi dengan sensor. Pada penelitian ini digunakan sensor LM 35 yang merupakan sensor pendeteksi suhu. Output dari sensor ini akan mengeluarkan tegangan analog DC sebesar 10 mV tiap 1° C.



Gambar 6.1 Bentuk fisik dari sensor suhu LM 35 DZ.

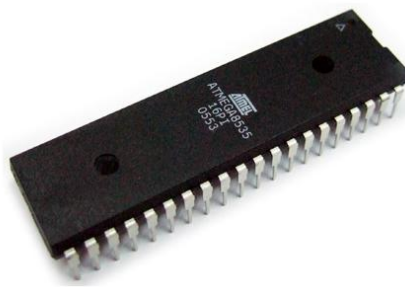
Namun permasalahan pada sensor ini disamping ketidakstabilan data output, respon perubahan suhu juga lambat. Sehingga dari alasan inilah pada penelitian yang akan diusulkan, sensor digunakan untuk menguji kinerja algoritma dalam menangani ketidakstabilan data informasi yang diperoleh.

## 6.2 Mikrokontroller AT Mega 8535

Mikrokontroler merupakan komponen yang bertugas sebagai prosesor utama pada desain perangkat *node WSN*. Tugas prosesor mulai dari menangani data sensing hingga aktifitas komunikasi RX/TX. Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengendali rangkaian elektronik dan dapat menyimpan listing program didalamnya. Dalam penelitian yang akan diusulkan, digunakan mikrokontroler type AT mega 8535 yang merupakan keluarga AVR.

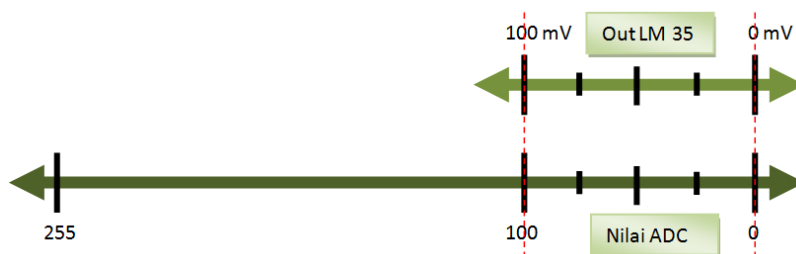
Adapun alasan menggunakan mikrokontroler jenis ini adalah fitur- fitur yang sangat dibutuhkan sudah terintegrasi dalam satu chip. Adapun fitur yang dibutuhkan pada usulan penelitian adalah ADC (Analog To Digital Converter) yang berfungsi mengkonversi data sensor yang bersifat analog menjadi digital agar dapat diolah dan dianalisa. Kemudian Timer yang berfungsi untuk aktivitas

sekuensial antara sensing, simpan data informasi, kirim data dan terima data dari *node* lain. Koneksi USART agar data yang ada pada mikrokontrol dapat dipantau dengan mudah pada PC. Kompatibilitas dengan LCD untuk monitoring aktivitas pada *node* WSN. Dan yang terakhir adalah memory SRAM 512 Bytes dan kapasitas EEPROM 512 Bytes. Sehingga diharapkan mampu untuk menangani kompleksitas algoritma konsensus rata-rata terdistribusi berserta *short node memory*. Gambar 6.2 Menunjukkan bentuk fisik dari Mikrokontroler AT Mega 8535.



Gambar 6.2 Bentuk Fisik Dari Mikrokontroler AT Mega 8535

Sensor suhu LM 35 DZ memiliki karakteristik mengeluarkan tegangan analog DC sebesar 10 mV tiap 1° Celcius. Output ini akan diumpangkan ke port ADC pada Mikrokontroler. Pada penelitian ini penanganan data sensor diawali dengan setting ADC. Adapun parameter penting ADC yang harus disesuaikan adalah Tegangan Referensi ADC ( $V_{ref}$ ). Untuk memudahkan komputasi, nilai ADC 0 di desain untuk mewakili nilai 0° Celcius dan nilai ADC 255 mewakili 255° Celcius. Sedangkan sensor memiliki batas deteksi mulai dari 0° sampai dengan 100o Celcius. Seperti yang terlihat pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3 Ilustrasi setting data ADC

Sehingga untuk menentukan Tegangan Referensi ADC ( $V_{ref}$ ). dilakukan dengan cara  $255 \times 10 \text{ mV} = 255 \text{ mV}$ . Dengan cara ini, nilai 1 pada ADC sama dengan  $1^\circ \text{ Celcius}$ .

### 6.3 Komponen Pendukung Sistem Komunikasi

Penelitian yang akan diusulkan meliputi desain perangkat WSN dengan media komunikasi FSO dengan jenis cahaya Infrared. Maka dibutuhkan perangkat pemancar dan penerima untuk mendukung aktivitas komunikasi antar *node*.

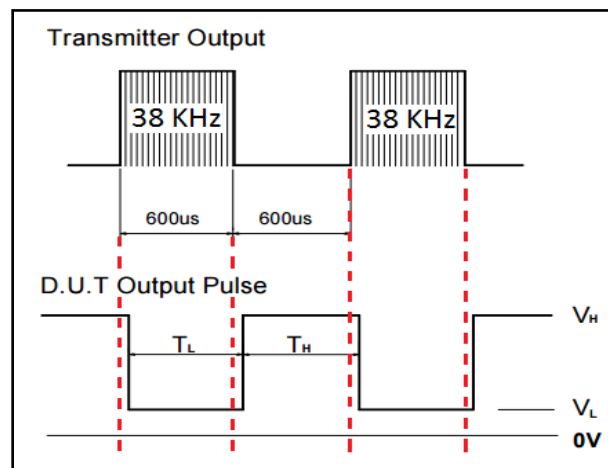
#### 6.3.1 Infrared Receiver TSOP 34838

Pada sisi penerima, digunakan sensor TSOP 34838 sebagai penerima informasi pada masing masing *node*. Komponen ini pada dasarnya adalah sebuah sensor kecil yang mendeteksi cahaya infrared dengan panjang gelombang 940 nm dan frekuensi cahaya On/Off pada 38 KHz. Secara fabrikasi, merupakan gabungan antara *photodetector* dan rangkaian *preamplifier*. Selain itu memiliki keunggulan kebal terhadap gangguan EMI dan insensitif terhadap cahaya ambien ruangan.



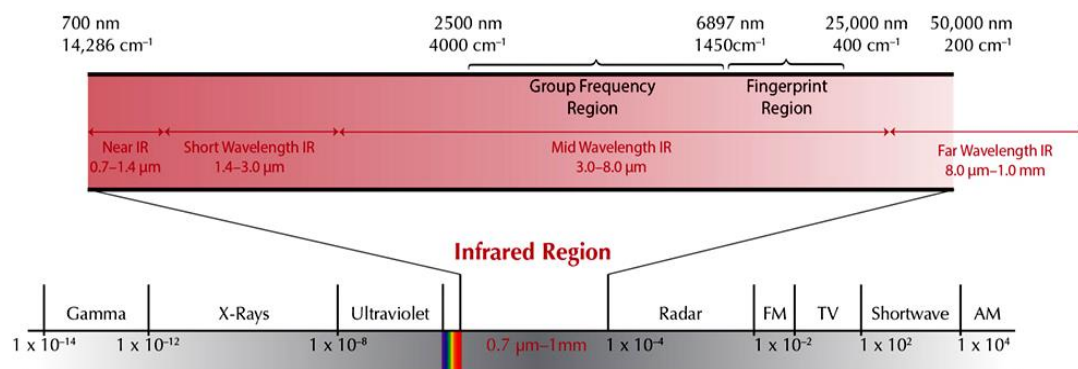
Gambar 6.4 Bentuk fisik dari TSOP 34838

Karena bekerja pada frekuensi 38 KHz, maka desain komunikasi perangkat WSN akan disesuaikan pada frekuensi tersebut. Sensor ini bekerja berdasarkan modulasi ASK. Seperti yang terlihat pada Gambar 6.5. Pada saat menerima cahaya infrared dengan frekuensi on-off  $\pm 38 \text{ KHz}$ , Output devais dalam kondisi logika 0. Dalam hal ini logika 0 tidak benar-benar 0 Volt. Sesuai informasi dari datasheet, logika 0 pada output devais memiliki nilai maksimum sebesar 100 mV. Kemudian ketika tidak mendeteksi adanya cahaya Infrared, maka output dalam kondisi 1. Dalam hal ini level tegangan sama dengan tegangan supply.



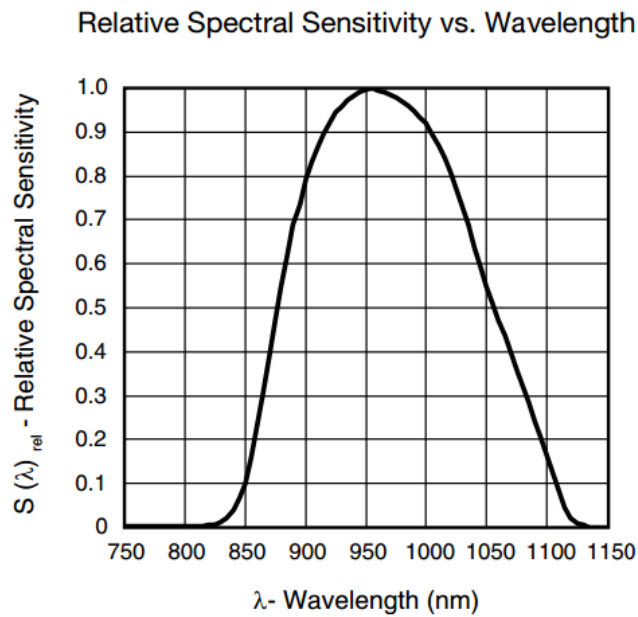
Gambar 6.5 Prinsip kerja Devais.

Dari segi panjang gelombang, seperti pada Gambar 6.6, cahaya infrared memiliki rentang dari 700 nm hingga 50.000 nm. Sedangkan rentang antara 700 nm hingga 1400 nm termasuk dalam kategori *near IR* yang memiliki jarak pancar sangat pendek.



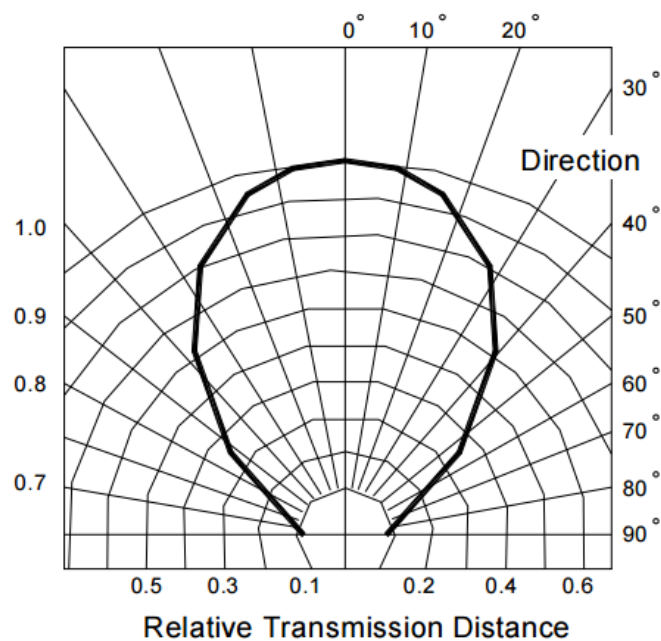
Gambar 6.6 Spektrum Cahaya

Sensor TSOP 34838 termasuk dalam kategori near IR karena bekerja pada rentang panjang gelombang 900 nm hingga 1000 nm. Sensor hanya akan sensitif pada cahaya infrared pada rentang tersebut. Adapun karakteristik sensor terhadap panjang gelombang adalah seperti yang terlihat pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7 Karakteristik Sensor Terhadap Panjang Gelombang Cahaya

Karakteristik lain yang tidak kalah penting adalah sudut penerimaan. Semakin mendekati 0 derajat posisi antara sensor dengan sumber cahaya, maka kemampuan penerimaan data informasi akan semakin maksimal. Adapun sudut ideal penerimaan adalah  $\pm 45^\circ$ . Seperti yang terlihat pada Gambar 6.8.



Gambar 6.8 Karakteristik Sudut Penerimaan

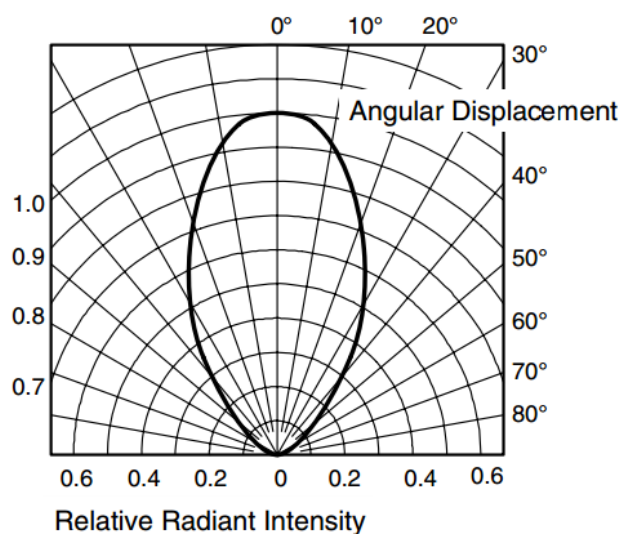
### 6.3.2 Infrared Transmitter TSAL 7600

Komunikasi antar *node* dari segi pemancar menggunakan komponen Infrared LED TSAL 7600. Komponen ini merupakan jenis infrared LED dengan efisiensi tinggi. Terbuat dari teknologi GaAiAs yang merupakan pengembangan dari teknologi GaAs dan dengan lensa yang terbuat dari bahan plastik bening. Komponen ini memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 940 nm pada forward bias dan sangat kompatibel dengan banyak jenis sensor IR *receiver*.



Gambar 6.9 Bentuk Fisik Dari IR LED TSAL 7600

Seperti pada Infrared *Receiver*, Infrared LED juga memiliki sudut pancar. Semakin mendekati 0 derajat posisi antara LED dengan sensor penerima, maka kemampuan pancaran cahaya akan semakin maksimal. Seperti yang terlihat pada Gambar 6.10.

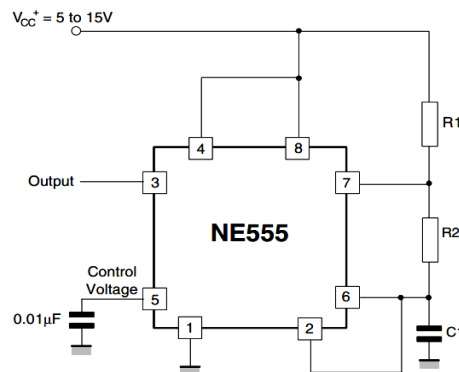


Gambar 6.10 Karakteristik Sudut Pancar TSAL 7600

### 6.3.3 Astable IC 555

IC 555 adalah IC yang berfungsi sebagai pewaktu ( timer ). Terdapat 3 mode operasi antara lain *Astable*, *Monostable* dan *Bistable*. Dalam penelitian ini digunakan mode *Astable*. Output IC menghasilkan gelombang kotak (*Square Wave*) secara kontinyu. Karena IR *Receiver* TSOP 34838 yang digunakan bekerja

pada frekuensi 38 KHz, maka semua komponen pasif pada rangkaian *Astable* 555 disesuaikan pada frekuensi tersebut. Output dari rangkaian *Astable* diumpankan ke Infrared LED untuk memancarkan data informasi. Gambar 6.11 menunjukkan rangkaian dasar dari IC 555 pada mode *Astable* yang dicuplik dari datasheet.



Gambar 6.11 Rangkaian Dasar *Astable* IC 555

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk konfigurasi frekuensi pada mode *Astable* IC 555. Secara umum nilai  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $C_1$  adalah yang diubah ubah dan dicari nilainya agar sesuai dengan frekuensi yang dikehendaki.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_1 + 2 R_2) \times C_1} \quad (6.1)$$

Dimana :

- $f$  = Frekuensi Output (Hz)
- $T$  = Periode (Detik)
- $R_1$  = Resistor 1(Ohm)
- $R_2$  = Resistor 2 (Ohm)
- $C_1$  = Capasitor 1(Farad)

Untuk mencari durasi dari logika High ( charge time ), maka digunakan persamaan berikut :

$$t_1 = 0,693 \times ( R_1 + R_2 ) \times C_1 \quad (6.2)$$

Sedangkan untuk mencari durasi dari logika Low ( discharge time ), maka digunakan persamaan berikut :

$$t_2 = 0,693 \times R_2 \times C_1 \quad (6.3)$$

Prosentase duty cycle merupakan prosentase durasi waktu antara logika High dan Low. Untuk mendapatkan prosentase tersebut, maka digunakan persamaan berikut :

$$D = \frac{R_2}{R_1 + 2R_2} \quad (6.4)$$



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Dwi Edi Setyawan, lahir di Surabaya Jawa Timur pada 13 Juni 1987, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara pasangan Bpk. Prayitno dan Ibu Supiyati. Memulai pendidikan formalnya di SDN Siwalan Kerto 3 Surabaya (1993-1999), kemudian meneruskan pendidikan di SLTP Intensif Bina Bangsa Surabaya (1999-2002) kemudian lulus tahun 2005 dari SMKN 3 Surabaya (2002-2005). Setelah itu, penulis meneruskan studi di Jurusan Teknik Elektro Universitas Bhayangkara Surabaya (2008-2012). Kemudian penulis mengambil program magister pada tahun 2015 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan jurusan Teknik Elektro, bidang keahlian Telekomunikasi Multimedia. Pengalaman kerja penulis adalah sebagai karyawan dibidang pertelevisian khususnya Teknik Studio dan IT Broadcasting di PT Jawapos Media Televisi (JTV) Surabaya sejak tahun 2006 hingga sekarang. Penulis bisa dihubungi melalui email [dwi2edi@gmail.com](mailto:dwi2edi@gmail.com).